

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**PLACAS PRÉ-MOLDADAS DE ARGAMASSA DE CIMENTO E PÓ
DE SERRA**

Barceer

Este exemplar corresponde a redação final da tese de doutorado defendida por Luiz Alfredo Cotini Grandi e aprovada pela Comissão Julgadora em 19 de maio de 1995. Campinas, 17 de julho de 1995.

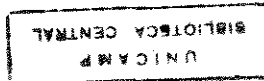
Luiz Alfredo Cotini Grandi
Tese apresentada em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de concentração: Construções Rurais.

Orientador:
Prof. Dr. Wesley Jorge Freire

Presidente da Banca
Wesley Jorge Freire

Campinas, SP

Mai de 1.995



15/12/2007/06

**Ofereço à minha querida esposa Leny, aos meus filhos Ana Cláudia e Luiz Alfredo,
aos meus netos Natália e Henrique .**

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos integrantes da FEAGRI - Faculdade de Engenharia Agrícola, especialmente o Prof. Dr. Wesley Jorge Freire, meu orientador, que pelo seu saber me orientou e me encorajou a lutar por este almejado título.

Agradeço aos integrantes da FEC - Faculdade de Engenharia Civil, especialmente aos Pesquisadores e Laboratoristas do LEMC - Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção, pela consideração, atenção e paciência que tiveram em atender às minhas exigências e impertinências.

Agradeço às indústrias CIMINAS e COLOMBINI por doarem, respectivamente os cimentos Portland ARI e os pós de serra necessários para desenvolver esta pesquisa.

Agradeço a Deus por ter colocado minha vida junto à de vocês, para vivermos as tristezas e as alegrias das conquistas do dia a dia e, como meta maior, por poder ajudar a sociedade a alcançar, pela pesquisa, o tão almejado paraíso.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1. MATERIAIS	16
3.1.1. Pó de serra	16
3.1.2. Cimento Portland	17
3.1.3. Equipamentos	17
3.2. MÉTODOS	28
3.2.1. Caracterização física dos materiais, escolha do traço, tipo e grau de adensamento da argamassa	30
3.2.1.1. Análise granulométrica das amostras de pó de serra coletadas na indústria	31
3.2.1.2. Constituição das misturas <u>A</u> , <u>B</u> , <u>C</u> , <u>D</u> e <u>E</u>	32
3.2.1.3. Teor de umidade e ensaio de inchamento/expansão das misturas <u>A</u> , <u>B</u> , <u>C</u> , <u>D</u> e <u>E</u>	33
3.2.1.4. Determinação da massa unitária das misturas <u>A</u> , <u>B</u> , <u>C</u> , <u>D</u> e <u>E</u> , no estado solto seco	34
3.2.1.5. Determinação da massa unitária das misturas <u>A</u> , <u>B</u> , <u>C</u> , <u>D</u> e <u>E</u> , no estado compactado seco	34
3.2.1.6. Determinação da massa específica das misturas <u>A</u> , <u>B</u> , <u>C</u> , <u>D</u> e <u>E</u> , por meio do Frasco de Chapman	34

3.2.1.7. Definição da faixa granulométrica de trabalho, misturas I, A, II	35
3.2.1.8. Determinação da massa específica das misturas I, A e II por meio do Picnômetro	36
3.2.1.9. Determinação dos índices físicos da mistura experimental do processo de adensamento do tipo prensagem	36
3.2.1.10. Escolha da mistura granulométrica constituinte do produto final	37
3.2.1.11. Escolha do tipo e da energia de adensamento: traços experimentais	38
3.2.1.12. Escolha dos traços, em massa, das argamassas que constituirão o produto final - placas pré-moldadas	40
3.2.2. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL	41
3.2.2.1. Determinação das quantidades de componentes por metro cúbico de argamassa	42
3.2.2.2. Ensaio de resistência à compressão simples	43
3.2.2.3. Ensaio de resistência à tração simples	43
3.2.2.4. Ensaio de flexão das placas	44
3.2.2.5. Ensaio para a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson	45
3.2.2.6. Medição do coeficiente de absorção sonora usando-se o tubo de ondas estacionárias	46
3.2.2.7. Ensaio para a determinação da condutibilidade térmica	48

3.2.2.8. Ensaio de combustibilidade da placa	50
3.2.2.8.1. Ensaio de combustibilidade em placas confeccionadas com traço 1: 0,25: 0,68.....	52
3.2.2.8.2. Ensaio de combustibilidade em placas confeccionadas com traço 1: 0,50: 1,53.....	52
3.2.2.9. Ensaio de arrancamento de parafuso.....	53
3.2.2.10. Ensaio de corte.....	53
3.2.2.11. Ensaio de absorção de água.....	54
4. RESULTADOS	70
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO.....	111
6. CONCLUSÕES.....	119
7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	123

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um “produto novo” para o mercado da construção civil. Este produto vem a ser placas moduladas, pré-moldadas, de 2 x 50 x50 cm, confeccionadas com argamassa constituída de aglomerante hidráulico, de pó de serra e água, produto este que, por suas características próprias, é de grande valia para as construções urbanas e rurais, moradias ou ambientes construídos que necessitem de melhor conforto ambiental.

A metodologia e a técnica aplicadas foram as indicadas pelas normas, com as devidas adaptações necessárias. Os ensaios realizados foram: granulometria e inchamento do pó; compactação da argamassa; relação água/cimento em função da trabalhabilidade e massa específica; resistência à compressão e tração simples; flexão de placa bi-apoiada com carga central; tensão - deformação; comportamento acústico e térmico; absorção de água, e combustibilidade do material. O processo de produção adotado foi o da argamassa vibrada sobre base porosa, sem aplicação de aditivos na mistura composta de pó de serra graduado, cimento Portland CPV-ARI (alta resistência inicial), e água. Esse processo simplifica a produção do produto tornando o seu custo mais baixo. Os resultados foram satisfatórios, indicando, no entanto, a necessidade de pesquisas complementares. Os ensaios demonstram que a massa específica e o comportamento geral do material estão em função do traço da argamassa, das dimensões das partículas e da composição granulométrica do pó utilizado. De modo geral, os resultados mostraram que o resíduo industrial “pó de serra” pode ter aplicações mais nobres do que as atuais, com novas opções de utilização, podendo substituir a madeira em diversas aplicações.

ABSTRACT

The goal of this work is the development of a new product for the civil construction market. This product is a modulated panel, pre-cast with 2x50x50cm dimensions, made of aglomerant hidraulic mortar with sawdust and water. These panels have their own characteristics with good environmental confort properties for various types +of buildings.

Methods and techniques employed were those of aproppiate norms with specific adaptations. Tests performed were: granulometry; swelling properties; mortar compactation; water/ciment ratio as a function of workability and density; strength, to compression and tension; bending of a simply supported slab with a central load, stress strength; acoustic and thermal behaviour; water absorption and combustibility. The production process adopted was a vibrated mortar on a porous base without additives using only saudust, Portland ciment CPV-ARI (high inicial strength) and water. This process simplifies production and reduces cost. Satisfactory results were obtained needing however additional research. The tests showed that the density and the general behaviour of the material depend upon the mortar proportion, the particle dimensions and granulometric composition of the sawdust. As a general conclusion it is shown that industrial residue products, like sawdust, have nobler application than they usualy do. New application options can substitute timber.

No presente trabalho propõe-se uma forma econômica e prática de produção de produtos, em forma de placas, com a utilização dos materiais conhecidos: pó de serra, cimento Portland e água. Os métodos de ensaios e critérios de aceitação são os já existentes, normatizados e, dentro do possível, foram adaptados para a obtenção dos resultados de caracterização. Estabeleceu-se procedimentos metodológicos que possibilitem a repetição dos resultados aqui apresentados.

Os produtos em disponibilidade no mercado, que poderão servir de comparação para o produto alternativo obtido, são: placas de gesso, de cimento-amianto e de concretos leves; placas aglomeradas de madeira (constituídas de partículas de madeira e cola - resina sintética); placa do tipo sanduíche (cimento-amianto e lâminas de madeira, cimento-amianto e isopor, madeira e isopor); tábuas de várias espécies de madeiras maciças e/ou folheadas; outros.

Não considerou-se a participação dos elementos químicos, inibidores da pega do cimento Portland existente nas partículas de madeira, e não considerou-se também, o quinhão de resistência dos mesmos nas peças estudadas. Entendeu-se serem esses temas razões para pesquisas específicas posteriores. A resistência total foi atribuída à pasta que, uma vez endurecida, deverá formar uma casca de espessura variável, penetrando e contornando as partículas já na sua máxima expansão. A diferença entre as expansões e as retrações de volume unitário da pasta (cimento e água) e do pó de serra (partículas de madeira) e água são bem diferentes, sendo as da pasta menor. A espessura da pasta envolvente das partículas será função da relação cimento/pó e das dimensões das partículas deste pó. A pasta, depois de endurecida, deverá formar "casulos" interligados, com cascas

higroscópicas de cimento endurecido, por onde passarão os gases e a umidade. As partículas do pó funcionarão como fôrmas perdidas no interior destes casulos. Assim, após o estabelecimento do regime de equilíbrio ambiental de umidade, temperatura e pressão, as partículas sólidas de madeira retrairão e, parte delas, resistente e bem ancorada na pasta endurecida, poderá exercer, ao retrair, esforços nas cascas que a envolvem. Para tornar desprezível esse efeito, realizaram-se os ensaios de tração e compressão simples aos 14 dias, com as amostras ainda úmidas e com as partículas de madeira expandidas. Os resultados destes ensaios foram usados como referencial para o ensaio de flexão da placa.

O pó de serra existe em quantidades variadas em todas as regiões do país; é produzido, em maior ou menor volume, em todas as operações da indústria da madeira: no beneficiamento (falquejamento, desdobramento e compensação da madeira); no processamento (utilização química ou físico-química da madeira como matéria prima) e na transformação da madeira para diversos fins (tábuas, pranchas, caibros, vigas, tacos para assoalhos, etc.).

Por razões de ordem imperiosa, as matas nativas tendem a ser preservadas, de sorte que, para atender à demanda do consumo industrial, elas estão sendo substituídas por espécies de árvores próprias para reflorestamento. Por outro lado, a crescente produção do pó de serra, resíduo da industrialização da madeira, exige pronta utilização, de forma que pesquisas voltadas ao seu aproveitamento industrial são sempre oportunas.

Aproveitando os conhecimentos já obtidos em pesquisas anteriores desenvolvidas pelo autor (Cotins Granai, 1991) com argamassa de pó de serra e aglomerantes aéreos e hidráulicos, procurou-se, nesta pesquisa, desenvolver um “produto novo” para o mercado da construção

civil, ou seja, placas moduladas pré-moldadas de 2 x 50 x50 cm, confeccionadas com argamassa de pó de serra e aglomerante hidráulico. Este produto, por suas características de resistência mecânica à compressão e tração simples; arrancamento, deformação e deslocamento; resistência ao fogo; comportamento acústico e térmico; massa específica e facilidade ao corte, dá, aos Engenheiros e Arquitetos, maior opção de escolha, ao especificarem produtos para atenderem os ambientes construídos que necessitem de melhor conforto ambiental.

Peças complementares serão posteriormente confeccionadas e ensaiadas com a finalidade de evitar o aparecimento de pontes térmicas, acústicas, higrotérmicas, etc, que possam prejudicar a qualidade do material obtido, assim como dar-lhe bom acabamento

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A palavra “compósito” (do latim “compositus”), refere-se ao material constituído de vários componentes distintos cuja associação confere ao conjunto propriedades que isoladamente não possuem. Tal como usada em ciência dos materiais, a palavra compósito refere-se ao material obtido a partir de uma matriz reforçada com fibras naturais ou artificiais.

Pequenas alterações nas dimensões das fibras ou das partículas constituintes, nos tipos e quantidades de cimento empregados, no teor de umidade, etc, levam os compósitos a apresentarem diferentes resultados, quando ensaiados mecânica, física e quimicamente.

Segundo **BAUER (1987)**, o agregado é formado por mistura de grãos irregulares e de ampla gama de tamanhos. Para caracterizar um agregado é necessário conhecer quais são as parcelas constituídas de grãos de cada diâmetro, expressas em função da massa total do agregado.

De acordo com **PETRUCCI (1979)**, granulometria refere-se à composição granulométrica do agregado miúdo, expressa em porcentagem relativa dos diferentes

tamanhos de grãos que se encontram constituindo o todo; tem ela uma grande influência nas propriedades futuras das argamassas, sendo determinada por peneiramento, utilizando-se as peneiras padrão normatizadas para o agregado miúdo (# 0,15; # 0,30; # 0,60; # 1,20; # 2,40; e # 4,80 mm) série normal.

Denomina-se diâmetro máximo do agregado a abertura da peneira em que ficar retida, acumuladamente, uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%.

Denomina-se Módulo de Finura (MF) a soma das porcentagens retidas acumuladas nas diferentes peneiras dividida por 100, e diz respeito à composição granulométrica do material solto.

As areias, de acordo com o seu módulo de finura, são classificadas em:

muito grossas (pedrisco).....	MF \geq 3,90
grossas	3,30 \leq MF < 3,90
médias	2,40 \leq MF < 3,30
finas	MF < 2,40

Muitas pesquisas foram realizadas com o objetivo de obter compósitos usando-se fibras de naturezas diversas em argamassas e concretos, empregando como aglutinante resina sintética, resina sintética mais cimento Portland nos seus mais variados tipos, aglomerante hidráulico (cimento Portland) em mistura com aglomerante aéreo (cal hidratada), etc. Em consequência das reações químicas do cimento, a resistência mecânica pode desenvolver-se em curto espaço de tempo (C_3S) ou ao longo do tempo (C_2S), assim como, pelo resultado da carbonatação da cal em presença de dióxido de carbono do ar.

Segundo **SABBATINI (1986)**, a consistência das argamassas podem ser: seca, plástica e fluída. As consistências são determinadas pela película de pasta que rodeia os grãos de areia. Na argamassa seca a pasta só preenche os vazios entre os grãos, permanecendo estes em contato, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica uma fina película de pasta “molha” a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluída, as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar - a argamassa se esparrama tal qual líquido.

As fibras e partículas usadas nas argamassas e concretos, por sua vez, podem ser representadas por fibras e partículas de metal ferroso ou não; por fibras minerais (amianto); por fibras sintéticas (polietileno) e por biomassa vegetal (fibras e partículas de madeira).

VALENZUELA (1989), relata que os compósitos de madeira com matriz cimento foram mencionados pela primeira vez em 1908. O grande desenvolvimento desses compósitos se deu após a Segunda Guerra Mundial. Em 1960 existia este tipo de indústria em mais de 28 países. O autor relatou também, que o envolvimento das partículas ou fibras de madeira por um mineralizante deixou a lignina inerte frente ao cimento. Com o aumento da relação em peso água/cimento, a temperatura máxima de hidratação do cimento diminui e o tempo para atingir essa temperatura máxima aumenta.

BERALDO (1994) afirmou que o compósito obtido a partir de produtos à base de cimento e partículas de madeira tornou-se de interesse comercial nos anos trinta, com a fabricação de painéis leves cujo ligante era cimento magnésiano. Esses painéis eram conhecidos por “Excelsius” (USA) ou “Heraklit” (Europa), sendo que, em meados dos anos

50, várias patentes foram depositadas pela sociedade **ELMENDORF**. Afirmou ainda que a maior parte das atuais indústrias de painéis utiliza, ainda, os processos derivados dessas patentes (**DINWOODIE e PAXTON, 1984**). Afirmou também que o compósito biomassa vegetal-cimento, sendo a associação de um ligante mineral qualquer (cimento Portland, cimento magnésiano, gesso, etc.) com granulado de origem vegetal, e, em certos casos, incorporando os mais diversos aditivos aceleradores de pega, cargas minerais, plastificantes, incorporadores de ar, etc., permite a obtenção de uma grande variedade de compósitos. Ainda segundo **BERALDO (1994)**, a literatura não modifica a terminologia em função das diferentes formas e dimensões dos constituintes, motivo pelo qual muitas vezes, leva ao emprego incorreto do termo “fibra” para designar um fragmento de madeira. **COUTTS (1992)** utilizou a abreviação WFRC (“wood fiber reinforced cement”) para designar os produtos de cimento reforçados por fibras, sendo as fibras elementos individuais primários, diferentes de “partículas”.

Segundo **MOSLEMI (1974)**, partícula é um termo genérico para todos os elementos ligno-celulósicos com os quais é feita a chapa de aglomerado. Existem diferentes tipos de partículas: quanto à dimensão, à densidade, e ao formato. “FLAKE” é uma partícula plana, fina, com espessura entre 0,2 e 0,4 mm, comprimento de 25 a 100 mm e largura entre 10 e 25 mm. “SHAVINGS” (aparas) são partículas finas de madeira, produzidas em algumas operações de trabalho, que permitem a obtenção de chapas de resistência, rigidez e estabilidade dimensional linear inferiores às das chapas produzidas com “flakes”. “CHIPS” (lascas, cavacos) são pedaços de madeira, de tamanho variável de 12 a 25 mm de comprimento por 1 a 5 mm de largura, e espessura um pouco menor. “EXCELSIOR” (palha

ou lã de madeira), usada na fabricação de chapas de madeira com cimento Portland, são partículas longas e finas (até 25,4 mm de comprimento) com aproximadamente 5 mm de largura, normalmente obtidas de madeiras de baixa densidade (principalmente as do gênero Pinus), utilizadas para fins estruturais. As chapas formadas por partículas são frequentemente divididas em 3 categorias quanto a sua densidade: baixa densidade (0,58 g/cm³); média densidade (0,58 a 0,79 g/cm³) e alta densidade (acima de 0,79 g/cm³).

Muitas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de melhorar o comportamento à tração dos concretos e argamassas, assim como sua estabilidade dimensional. Os resultados relatados demonstram a potencialidade das fibras vegetais nas aplicações em que a ductibilidade do material é importante, desde que superadas as deficiências de resistência à tração e de durabilidade do compósito, sendo significativa a queda dessa propriedade aos 180 dias de idade para compósitos com fibras vegetais, provavelmente em decorrência da degradação dessas fibras em condições severas de exposição (umidade relativa superior à 95%) e alternância destas condições).

Matrizes de argamassa ou concreto reforçados com fibras curtas ou longas, individuais ou em feixes, motivam e desafiam, de acordo com **SWAMY (1990)**, a procura de novos materiais de construção. A função principal das fibras está em retardar a ruptura e controlar a tensão de rompimento da matriz. Este múltiplo controle de rompimento reduz todas as deformações ao mesmo nível de força (esforço) e dá uma boa definição do seu comportamento após o rompimento. Não obstante a ruptura, a capacidade de absorção de energia e a flexibilidade nos compósitos são substancialmente melhoradas. Embora existam fibras naturais em abundância, disponíveis a baixo custo, apresentam elas muitas limitações,

tais como baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos, baixa durabilidade em meio alcalino, e variação de propriedades entre fibras do mesmo tipo. O desenvolvimento insuficiente de pesquisa e de ensaios nesta área é atribuído à falta de informações científicas precisas sobre a estrutura e propriedades da fibra natural, sua compatibilidade com as várias matrizes, além das propriedades do próprio compósito. As fibras podem ser derivadas de folhas, caules ou madeira, sendo que tanto o diâmetro como o comprimento das fibras são dependentes da idade da planta. A degradação química das fibras orgânicas faz com que, dentro de pouco tempo, cesse de existir a propriedade de reforço favorecendo o aparecimento de fissuras. As fibras vegetais contêm hemicelulose, amidos, açúcares, taninos, certos fenóis e ligninas. Todos são conhecidos como inibidores da pega normal e do desenvolvimento das propriedades de resistência da matriz cimento. A decomposição da fibra é mais rápida no meio alcalino do que no meio úmido natural, sendo a rapidez de degradação dependente da natureza da fibra. O grau de polimerização e a localização dos inibidores da pega do cimento afetam o seu tempo de pega, o desenvolvimento da resistência e a durabilidade do produto. **SWAMY (1990)** registrou evidências de que fibras naturais permaneceram intactas em concreto carbonatado, visto que a fragilidade da fibra é causada principalmente pela alta alcalinidade da matriz. Há técnicas de redução da alcalinidade da matriz pelo uso de cimento aluminoso, de cimento de baixo teor de álcalis, de adição de cinzas volantes, de solos granulados, de escória de alto forno, de microssilica, etc. O uso destas técnicas protegeram a integridade das fibras por longo tempo, preservando a sua capacidade de reforço.

Estudos realizados por **PIRJE et al. (1990)** demonstraram que, em virtude do processo de fabricação, as fibras não ficam homoganeamente distribuídas na massa do compósito, levando as micro-regiões a terem comportamento mecânico diferenciado.

Conforme **SWAMY et al. (1986)**, compósitos de cimento reforçados com fibras de aço, vidro e polipropileno, têm sido extensivamente desenvolvidos e com expressiva série de aplicações práticas.

Segundo **BIBLIS (1968)**, em certos lotes de compósitos, a pega do cimento não tem ocorrido ou tem tido o seu tempo aumentado consideravelmente, mesmo utilizando idêntico processo de fabricação, a mesma matéria prima e o mesmo traço. Algumas madeiras, sendo material orgânico, ao serem utilizadas em forma de partículas como agregado do cimento Portland e água, apresentam certas reações químicas desfavoráveis à pega do cimento.

Suficientes pesquisas e experiências práticas foram realizadas visando a utilização de fibras naturais em concreto, tais como as de **GRAM (1983)**, **GRAM et al.(1984)**, **GRAM 1986)**, **MWAMILA (1984)**, **SWAMY (1984, 1988)**, **RILEM (1986)** e **IPT (1987)**.

Segundo **FORDOS (1989)**, **COUTTS (1989)** e **AKERS et al. (1989)**, encontra-se bem avançada a fabricação de produtos (compósitos com fibra de madeira) autoclavados e curados ao ar, tais como placas lisas, telhas onduladas, tubos, etc.

Conforme **ROWELL et al. (1993)**, os materiais lignocelulósicos obtidos a partir de uma biomassa vegetal qualquer podem ser considerados como a combinação entre fibras de celulose (longas cadeias moleculares cristalinas) e uma matriz constituída de lignina, hemicelulose e compostos amorfos.

Segundo **BAZIRE & GADANT (1991)**, por ocasião da produção de madeiras beneficiadas, resulta das operações de transformação uma enorme quantidade de resíduos, que são mais do que suficientes para atender à demanda das indústrias dependentes deste tipo de matéria prima.

DORLOT et al. (1986) afirmam que na fabricação de painéis de partículas, estas devem ser mais longas do que espessas, sendo que após a secagem devem ser impregnadas com resina endurecedora, à quente, e em seguida prensadas, também à quente. conhecidos como “Mansonite” ou “D’isorel” são utilizados na indústria de móveis e de construção civil. Tais “madeiras” modificadas têm diminuídas as contrações motivadas pela heterogeneidade da madeira natural e permitem a obtenção de um produto com características constantes e isotrópicas, a utilização de árvores de pequeno diâmetro e o melhoramento do rendimento operacional. São considerados como mais importantes materiais de construção dessa categoria, o laminado colado, o contra-placado, os painéis de partículas e os painéis de fibra.

SIMATUPANG (1986) e SIMATUPANG & LANGE (1988) relataram as tecnologias existentes para a redução do tempo de produção de chapas de madeira-cimento, gesso e magnésio. Referiram-se, também, à adição de retardadores e aceleradores de pega, à injeção de vapor e adição de CO₂ em forma gasosa durante a prensagem das chapas. Sabe-se que os aditivos influenciam as reações químicas inerentes a hidratação do cimento. A temperatura ótima durante a pega varia de 40° C a 80° C e é influenciada pelos materiais constituintes. O uso de CO₂ sob pressão na fabricação de placas madeira-cimento permite a utilização de espécies de madeira com maior concentração de glicose e taninos.

Segundo **BERGER et al. (1972)**, a carbonatação do cimento Portland hidratado é de considerável interesse técnico. A carbonatação melhora as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, e é controlada pela difusão de CO_2 na mistura. Se for utilizada uma pressão parcial de CO_2 mais elevada do que a natural, o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pode se carbonatar rapidamente. Pastas compactas de cimento Portland com fator $a/c = 0,15$ reagem rapidamente com o CO_2 , sob pressão, e desenvolvem considerável resistência à compressão em poucos minutos. Verificaram os autores retro mencionados que a água, em contacto com o cimento Portland, satura-se rapidamente em relação ao $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Outra vantagem da carbonatação é de minimizar a incompatibilidade química madeira-cimento. No entanto, a alternativa técnica utilizadas industrialmente é a adição de aceleradores de pega à pasta de cimento Portland.

Ao final de 70 ensaios realizados, **ZHENG TIAN & MOSLEMI (1985)** determinaram a influência de 30 aceleradores de pega (orgânicos e inorgânicos) do cimento sobre a temperatura de hidratação da mistura madeira-cimento; foi usado 2% de acelerador de pega de cada tipo, em relação ao peso do cimento, foram obtidas elevações de temperatura de $25,4^\circ \text{C}$ a $28,4^\circ \text{C}$. A temperatura mais alta foi obtida com FeCl_3 ($48,5^\circ \text{C}$). Para os oito melhores produtos, foram estudadas a influência da quantidade de aditivos em relação ao comportamento exotérmico da mistura. Verificaram os autores que, aumentando-se a quantidade de acelerador de pega ocorria uma elevação máxima de temperatura de hidratação e uma redução no tempo necessário para alcançá-la. Foi constatado também que os quatro melhores aceleradores de pega foram os cloretos: SnCl_2 , FeCl_3 , AlCl_3 e CaCl_2 .

Trabalhos anteriores realizados sobre a hidratação do cimento Portland por **TAYLOR (1964)** mostraram que os cloretos reagem com o C_3A do cimento, formando o hidrocloretoaluminato de cálcio. A solubilidade desse produto na água foi maior do que a da etringita; desta forma, os grãos minerais do cimento são cobertos por uma camada mais permeável quando comparados com os do cimento puro. As reações iniciais foram intensificadas liberando grande quantidade de calor. A temperatura inicial aumentou e, quanto maior foi a quantidade de acelerador de pega utilizado, maior foi a elevação de temperatura.

Em estudos realizados, **MOSLEMI et al. (1983)** observaram que os compósitos são altamente sensíveis às espécies de madeira utilizadas, as quais alteram profundamente a curva do calor de hidratação do cimento Portland em função do tempo. Foram usados vários aditivos químicos na tentativa de melhorar o calor de hidratação e, desta forma, a pega do cimento, tais como os aditivos $CaCl_2$, $NaOH$, $MgCl_2$ e $Ca(OH)_2$. Deve-se salientar, no entanto, que estudos preliminares devem ser realizados para adequar o acelerador à espécie de madeira utilizada.

Segundo **LEE & HONG (1986)**, a resistência à compressão é linearmente proporcional à temperatura máxima de hidratação do cimento, porém independe do seu tempo de hidratação. A adição de 3% de $CaCl_2$ (em peso do cimento) aumenta consideravelmente a temperatura máxima de hidratação; desta forma, a compatibilidade das diferentes espécies de partículas de madeira com o cimento pode ser identificada comparando-se os resultados das resistências à compressão ou as temperaturas de hidratação sem e com o uso do $CaCl_2$.

Com relação aos inibidores da matriz cimento, **YASUDA et al. (1992)** realizaram pesquisas sistemáticas a respeito dos inibidores presentes no cerne da madeira “Sugi-cedro do Japão”. Concluíram os autores que a grandeza da inibição da pega do cimento depende, consideravelmente, da concentração do agente inibidor; que os aceleradores de pega CaCl_2 e AlCl_3 sofreram grande índice de inibição e o MgCl_2 , baixo índice de inibição.

Estudos econômicos foram realizados por **LEE (1985)** no sentido de estabelecer, em madeiras compatíveis com cimento, a relação em peso do traço cimento/madeira em função do custo da madeira produzida em raspas (“excelsior”). As características ótimas são alcançadas, segundo o autor, quando se utiliza a razão 2,0/1,0; se for utilizada uma razão inferior a esta, haverá baixa aderência e menor resistência à flexão.

Segundo **SANDERMANN et al. (1960)**, o retardamento da pega do cimento pelos inibidores constituintes da madeira é provocado por uma membrana impermeável que envolve as partículas de cimento. A hidratação do grão cimento é rapidamente interrompida pelos retardadores da pega e isso só pode ser explicado pela formação da membrana impermeável em torno do grão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de se alcançarem os objetivos propostos, foram utilizados os seguintes materiais e métodos.

3.1. MATERIAIS

3.1.1- PÓ DE SERRA

Utilizou-se o pó de serra obtido das madeiras pinus (**Pinus caribaea** var. **hondurensis**), eucalipto (**Eucalyptus citriodora**), cerejeira (**Amburana sp.**), e aqueles provenientes do lixamento de chapas de fibra de madeira e aglomerado de madeira, por se tratarem de madeiras comumente trabalhadas pelas indústrias de móveis, na condição de madeira natural ou na forma de aglomerados, aglutinados com produtos à base de uréia e formol, além de fazerem parte daquelas espécies de madeiras utilizadas para plantio nos programas governamentais de reflorestamento (exceto a cerejeira). O pó de serra foi colhido

nos silos de rejeitos (figura 1) da indústria de móveis “Colombini Ltda”, localizada na cidade de Araras, Estado de São Paulo, constituindo-se ele o material proveniente da industrialização das madeiras citadas, resultado das operações realizadas com serras, tupias e lixadeiras.

Foram colhidas as amostras (figuras 2 a 7), sendo: três amostras do silo 1, chamadas de A, B e C; uma amostra do silo 2 (figura 1) e uma amostra do silo 3.

3.1.2. CIMENTO PORTLAND

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial - **CP V - ARI (NBR 5733)**.

A escolha deste cimento deveu-se, entre outras razões, ao seu elevado teor de C_3S (Silicato Tricálcico) e C_2S (Silicato Dicálcico), em relação aos outros tipos de cimento Portland. Outra característica que pesou na sua escolha foi a resistência à compressão inicial elevada, favorecendo a redução no tempo de desforma e uso das peças e resultando em economia de espaços reservados à cura e estocagem, além da rapidez no giro do capital aplicado é menos sensível à ação dos extrativos da madeira.

3.1.3. EQUIPAMENTOS

Foi desenvolvido um equipamento semelhante ao Proctor Normal, com forma e

dimensões adequadas, para possibilitar a compactação dos corpos de prova necessários a este trabalho e reproduzir a mesma energia de compactação do equipamento citado (figuras 8 e 9).

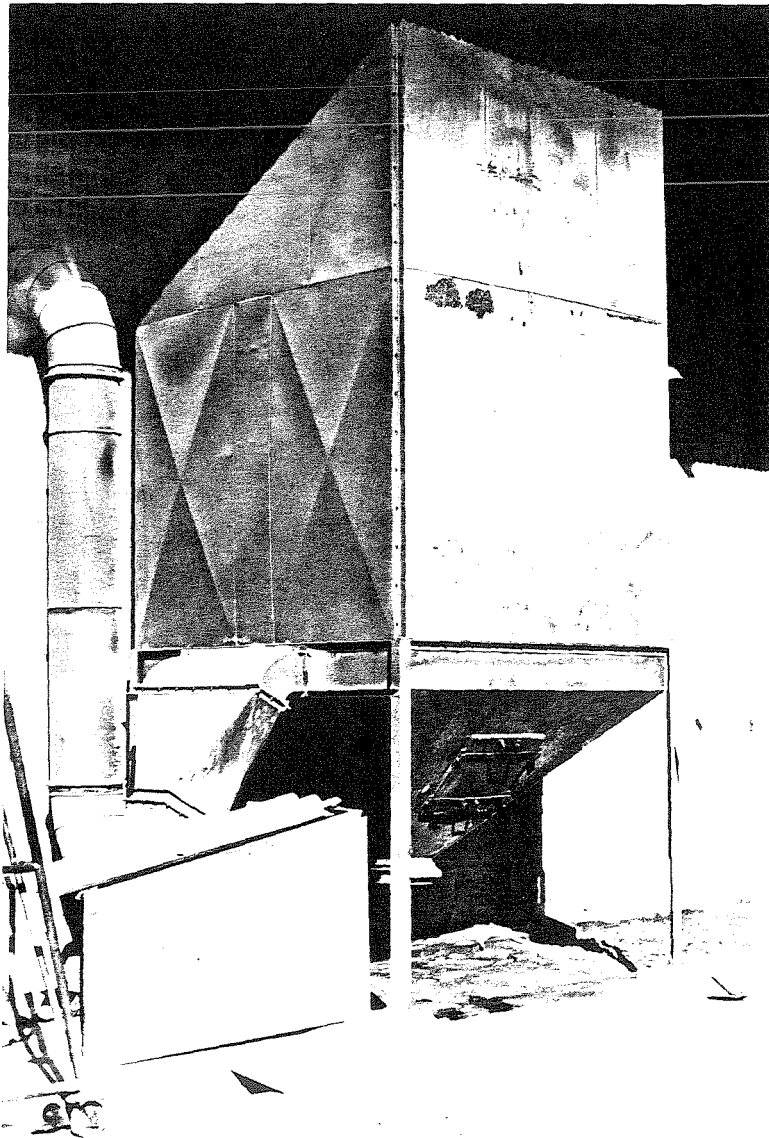


figura 1 - silos de rejeitos 2

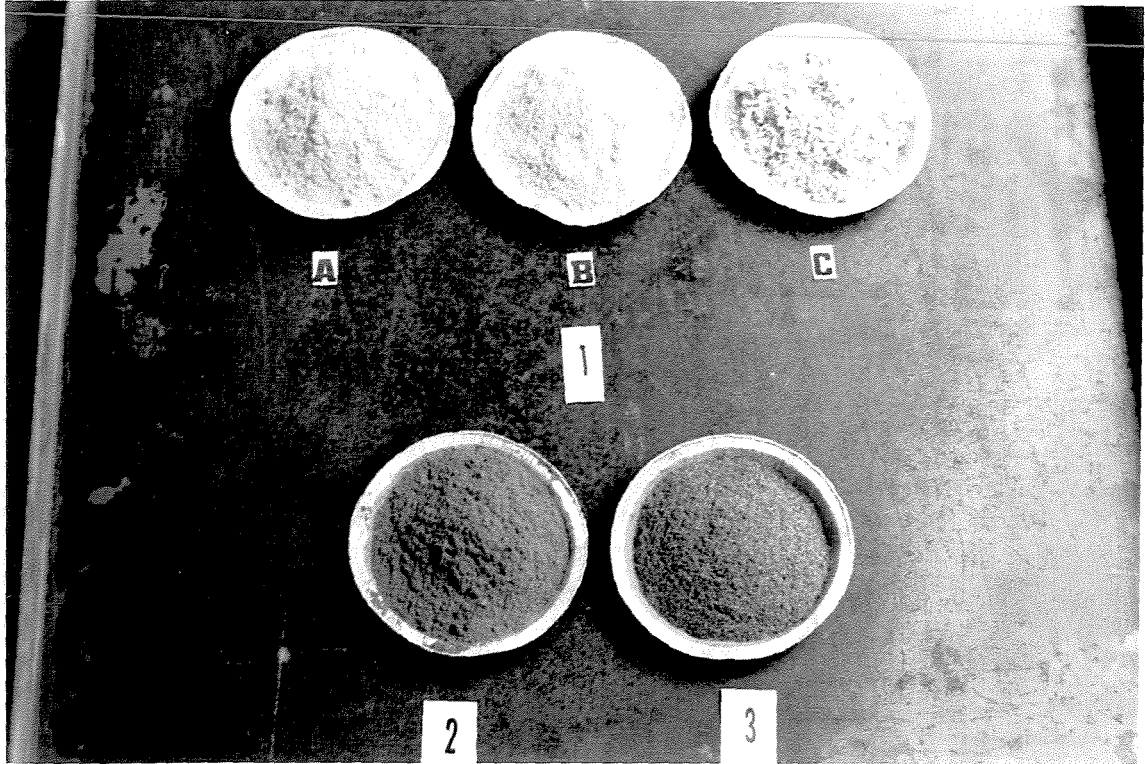


figura 2 - Amostras colhidas: A, B e C - silo 1

siló 2

siló 3

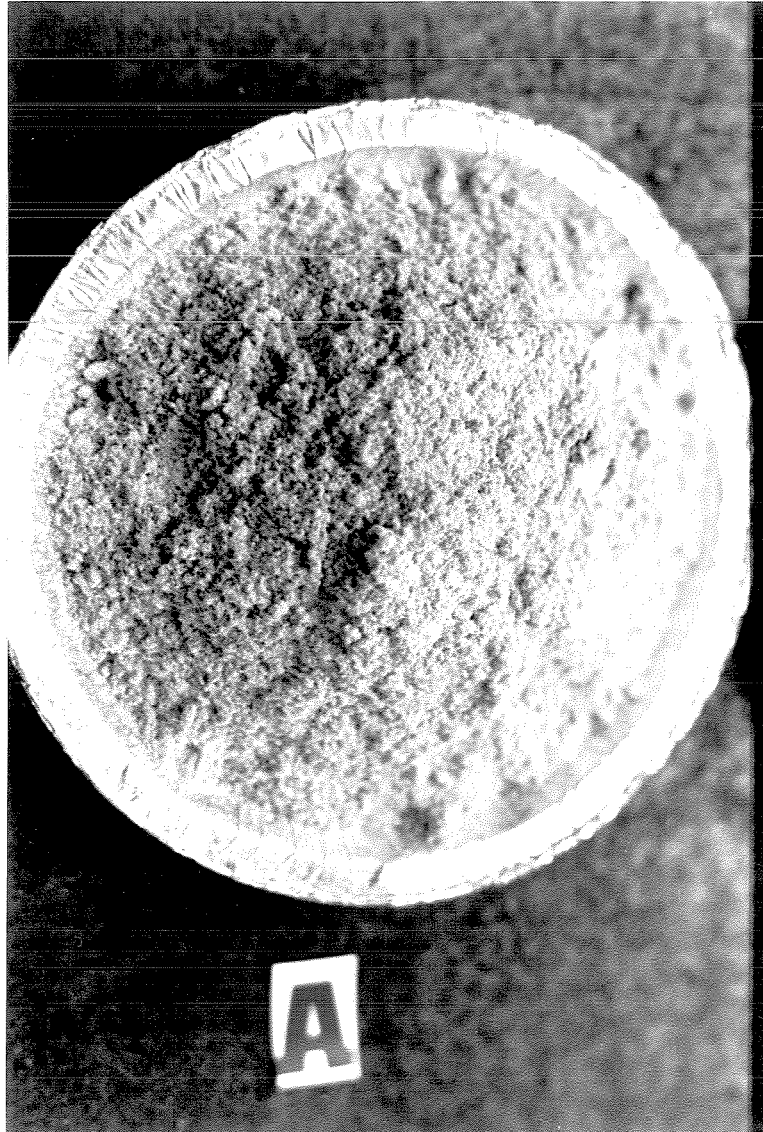


figura 3 - amostra A do silo 1

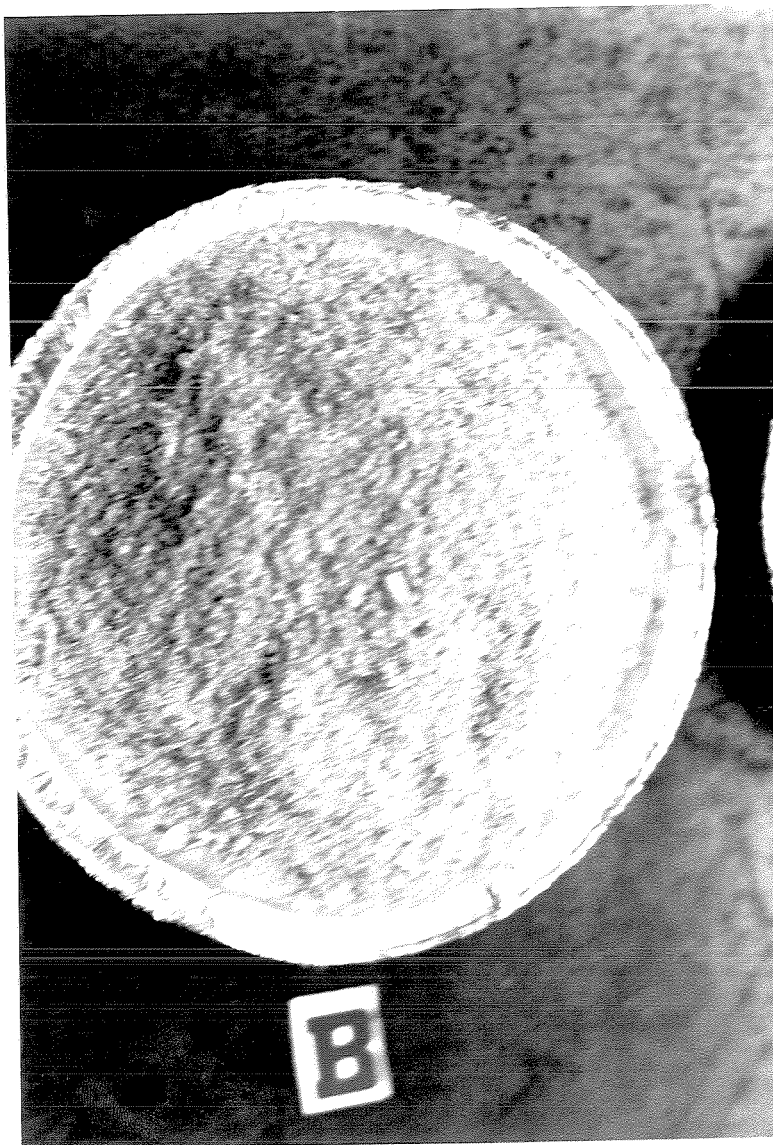


figura 4 - Amostra B do silo 1



figura 5 - Amostra C do silo 1



figura 6 - Amostra do silo 2

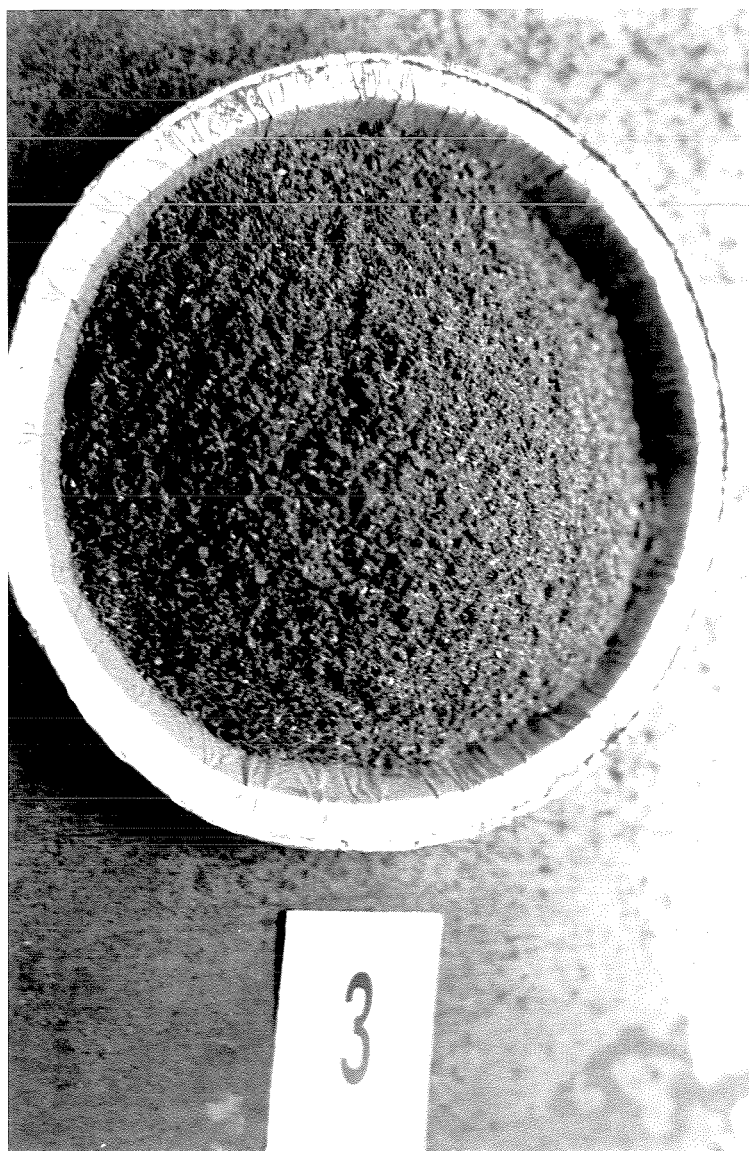


figura 7 Amostra do silo 3

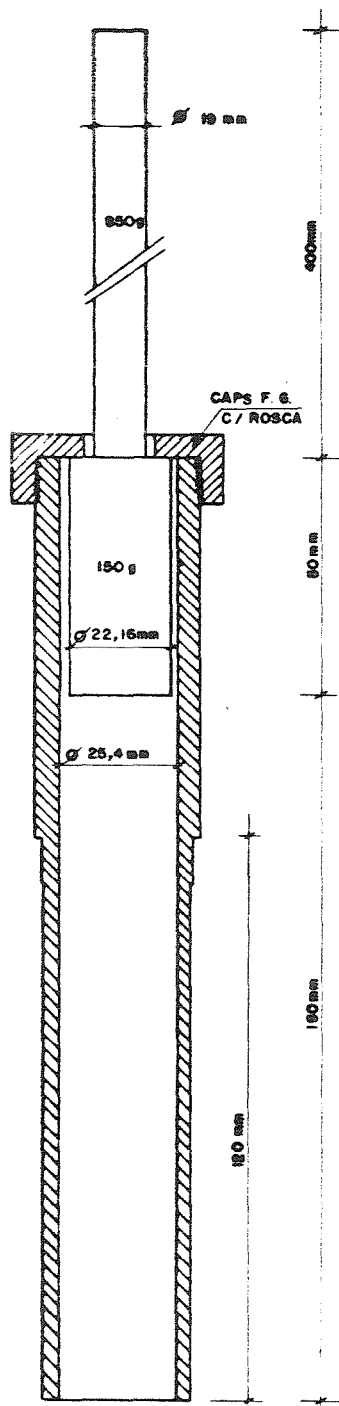
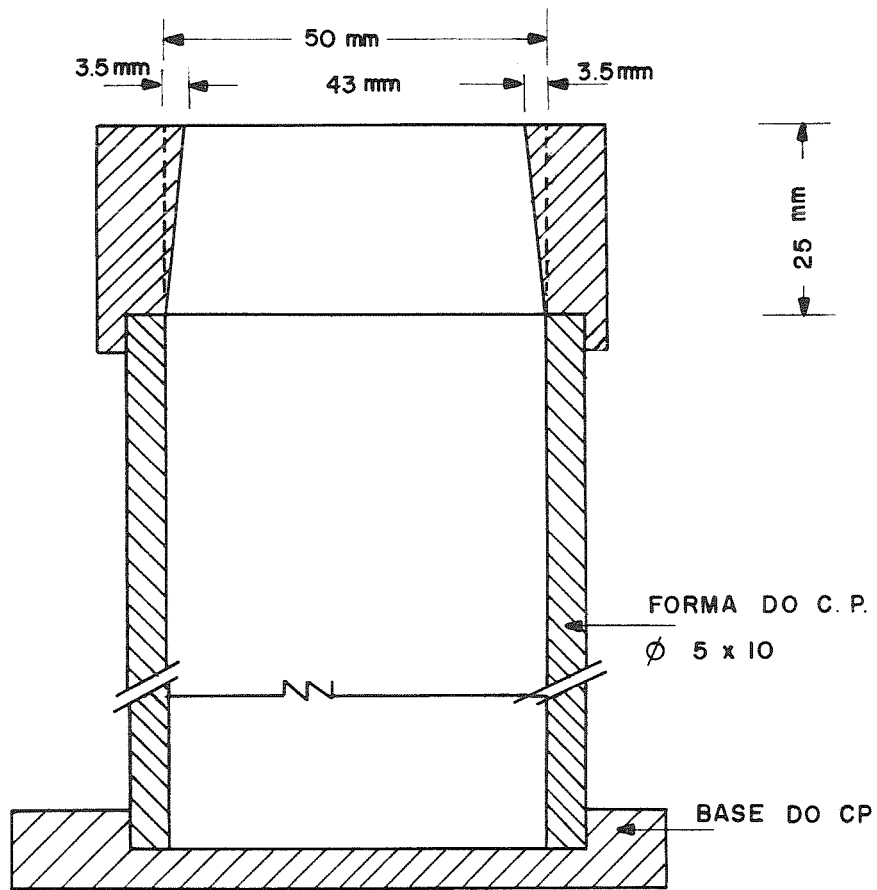


figura 8 - Equipamento de compactação

ANEL DE COMPLEMENTAÇÃO DA FORMA DO C. P. PARA COMPACTAÇÃO



ϕ = diâmetro

figura 9 - Complemento de forma para o equipamento de compactação

3.2. MÉTODOS

Para a realização da pesquisa obedeceu-se a sequência abaixo:

- a) Caracterização física dos materiais, escolha do traço, tipo e grau de adensamento da argamassa (3.2.1);
- b) análise granulométrica das amostras de pó de serra coletadas na indústria (3.2.1.1);
- c) constituição das misturas A, B, C, D e E (3.2.1.2);
- e) teor de umidade e ensaios de inchamento/expansão das misturas A, B, C, D e E (3.2.1.3);
- f) determinação da massa unitária das misturas A, B, C, D e E, no estado solto seco (3.2.1.4);
- g) determinação da massa unitária das misturas A, B, C, D e E, no estado compactado seco (3.2.1.5);
- h) determinação da massa específica das misturas A, B, C, D e E, por meio do Frasco de Chapman (3.2.1.6);
- i) definição da faixa granulométrica de trabalho constituída pelas misturas I, A e II (3.2.1.7);
- j) determinação da massa específica das misturas I e II por meio do Picnômetro (3.2.1.8)
- k) determinação dos índices físicos da mistura experimental do processo de adensamento

tipo prensagem (3.2.1.9);

l) escolha da mistura granulométrica da composição do produto final (3.2.1.10);

m) escolha do tipo e da energia de adensamento/compactação: traços experimentais (3.2.1.11);

n) escolha dos traços, em massa, das argamassas que constituirão o produto final - placas pré-moldadas (3.2.1.12);

o) ensaio de caracterização do produto final (3.2.2);

p) determinação das quantidades de componentes por metro cúbico de argamassa (3.2.2.1);

q) ensaio de resistência mecânica à compressão simples (3.2.2.2);

r) ensaio de resistência mecânica à tração simples (3.2.2.3);

s) ensaio de flexão das placas (3.2.2.4);

t) ensaio para a determinação do Módulo de Elasticidade e do Coeficiente de Poisson (3.2.2.5);

u) medição do coeficiente de absorção sonora usando-se o tubo de ondas estacionárias (3.2.2.6);

v) ensaio para a determinação da condutibilidade térmica (3.2.2.7);

x) ensaio de combustibilidade da placa (3.2.2.8);

y) ensaio de arrancamento de parafuso (3.2.2.9);

w) ensaio de corte (3.2.2.10);

z) ensaio de absorção de água (3.2.2.11);

aa) resultados (4);

ab) análise e discussão (5);

ac) conclusões (6);

ad) bibliografia consultada (7).

Os ensaios foram realizados, sempre que possível, de acordo com as normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, e de outras entidades filiadas à ISO - International Standardization Organization.

Foram examinadas tanto as características dos materiais que entram na fabricação do compósito como as características físicas e mecânicas do produto final foram examinadas

3.2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS MATERIAIS, ESCOLHA DO TRAÇO, TIPO E GRAU DE ADENSAMENTO DA ARGAMASSA.

Considerou-se a areia, agregado miúdo, como o elemento base de comparação com o pó de serra, embora tais materiais apresentem natureza e formas diferentes.

Módulo de Finura expressa a granulometria de um agregado a qual, por sua vez, tem um papel fundamental no comportamento geral das argamassas de areias quartzosas. A granulometria é importante para todos os materiais que têm forma geométrica granular.

Esses materiais, assim como o pó de serra, se acomodam em uma unidade de volume com maior ou menor massa dependendo da imbricação de seus grãos. Essa dependência formará as características dos produtos industrializados com esses materiais. A resistência mecânica será de responsabilidade da pasta endurecida de cimento Portland. A massa do produto por unidade de volume dependerá da massa de pó que será colocado nessa unidade e caberá mais e melhor distribuída quanto melhor, para o produto, for a compactação e sua composição granulométrica.

3.2.1.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DO PÓ DE SERRA COLETADAS NA INDÚSTRIA

As análises granulométricas das amostras A, B e C foram feitas de acordo com as normas da **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Os limites granulométricos e as curvas granulométricas foram determinados através da NBR-7211/82 e a classificação, de acordo com a NBR-7217/87.

As amostras foram constituídas pelos pós colhidos nos silos da indústria citada no item 3.1.1. A amostra A foi composta com pó de serra das madeiras Pinus caribaea var. hondurensis, Eucalyptus citriodora e Amburana sp (figuras 2 e 3, Tabela 1) com granulometria adequada às necessidades do trabalho; a amostra B foi composta por pó de serra das mesmas madeiras constituintes da amostra A, porém com granulometria diferente, expressa por módulos de finura e diâmetros máximos maiores (figuras 2 e 4, Tabela 2), a amostra C foi desconsiderada porque as dimensões de suas partículas são maiores do que a adotada no trabalho (figuras 2 e 5); a amostra do silo 2 (figuras 2 e 6, Tabela 3) foi composta de pó de serra resultante do lixamento de chapas de fibras de madeira; a amostra do silo 3 (figuras 2 e 7, Tabela 4) foi composta de pó de serra resultante de cortes de chapas e peças de madeira das diversas espécies já citadas.

Procurou-se montar uma granulometria ideal para o pó, tomando-se por base aquela recomendada para agregado miúdo (areia) para argamassas.

Denominou-se pó ao pó de serra tomado de uma forma genérica.

Após coletadas as amostras, foram tomadas 100g de pó, naturalmente seco, que foram submetidas ao processo de peneiramento, durante 15 minutos, no agitador automático

de peneiras, através de um jogo de cinco peneiras da série normal de aberturas de malha correspondentes a 4,80; 2,40; 1,20; 0,60; 0,30 e 0,15mm, dispostas no sentido decrescente da abertura de suas malhas, anotando-se o peso da porção de pó retida em cada uma delas.

O teor de umidade foi determinado à temperatura de 90°C, em razão da provável combustão da matéria orgânica constituinte do pó em temperaturas mais elevadas.

As zonas 1, 2 e 3, são aquelas estabelecidas pela NBR-7211/82 e 7217/87 da ABNT.

A grande variação encontrada nos valores dos Módulos de Finura (MF) do pó de serra das amostras exigiu a composição de uma mistura com MF que melhor atendesse às necessidades requeridas do material a ser produzido tais como: massa específica, resistência mecânica, comportamentos térmico e acústico, etc, permitindo o aproveitamento das partículas normalmente produzidas pela indústria e a transformação, em partículas de diâmetros adequados, daqueles restos de madeiras considerados inaproveitáveis.

As variações acima expostas e as incógnitas existentes impuzeram a necessidade de se fazerem estudos preliminares com o objetivo de estudá-las e caracterizá-las de acordo com as normas e ensaios relacionados em seguida.

3.2.1.2. CONSTITUIÇÃO DAS MISTURAS A, B, C, D e E

Para os ensaios preliminares, foram consideradas como misturas, aqui chamadas de A, B, C, D e E, as composições granulométricas pré-estabelecidas obtidas a partir da amostra original B (figura 4), extraídas sequencialmente por seu peneiramento (Tabela 5). Obviamente essas composições granulométricas são diferentes, resultando, portanto, em

misturas de MF e características físicas diferentes.

As misturas A, B, C, D e E foram confeccionadas e utilizadas nos ensaios preliminares de caracterização física dos pós, objetivando encontrar-se uma mistura, dentre as ensaiadas, aquela que melhores resultados dariam na produção e utilização de placas pré-moldadas de argamassa e pó de serra (Tabela 5).

3.2.1.3. TEOR DE UMIDADE E ENSAIO DE INCHAMENTO / EXPANSÃO DAS MISTURAS A, B, C, D e E

Definidas as misturas granulométricas com seus respectivos MF, as amostras compostas (misturas) foram então submetidas aos ensaios de inchamento. Inicialmente, sub-amostras de 100g, tomadas de cada mistura, foram levadas à estufa a 90°C e determinados seus teores de umidade (w), cujas médias foram a seguintes:

mistura A, w = 5% ; mistura B, w = 3,4% ; mistura C, w = 3,2% ;

mistura D, w= 4,4% ; mistura E, w= 4,0% .

O ensaio de inchamento das misturas A, B, C, D e E, foram realizados de acordo com as normas da ABNT (NBR-6467/87), e conduzidos em três repetições.

O de adensamento foi conseguido aplicando-se 25 golpes da haste de ferro de 16mm de diâmetro, massa de 1,0 kg e altura de queda de 15 cm, sobre a mistura colocada dentro de um recipiente cilíndrico de ferro com capacidade para 3,0 dm³, conjuntamente com uma pequena vibração, batendo-se o recipiente na bancada duas vezes, de forma a não restarem vazios provocados pela haste.

Trezentos gramas de água foram acrescentadas parceladamente, em cada determinação,

considerando-se o pó, com um teor de umidade igual a 5,0%, como pó naturalmente seco.

3.2.1.4. DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DAS MISTURAS A, B, C, D e E, NO ESTADO SOLTO SECO (γ_{ss}).

A massa unitária do pó de serra no estado solto foi determinada de acordo com a Norma NBR-7251/82, utilizando-se de um recipiente de volume aproximado a 20 dm³ (31,5 x 31,5 x 20,0 cm).

3.2.1.5. DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DAS MISTURAS A, B, C, D e E, NO ESTADO COMPACTADO SECO (γ_{sc})

A massa unitária do pó de serra no estado compactado e seco, foi determinada de acordo com a NBR-7810/82, utilizando-se um recipiente cilíndrico de volume aproximado a 3 dm³.

3.2.1.6. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS MISTURAS A, B, C, D e E (γ_s) POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN

As massas específicas dos pós de serra foram determinadas de acordo com a Norma

NBR-9776/86, substituindo-se a água por 350 cm³ de álcool e o agregado miúdo por 75 g de pó de serra.

Tal substituição da água por álcool deveu-se ao fato deste ter menor densidade do que a água e o pó ser de massa menor do que da areia. Em se utilizando água, parte do pó de serra bóia na superfície, problema este eliminado pelo uso do álcool.

3.2.1.7. DEFINIÇÃO DA FAIXA GRANULOMÉTRICA DE TRABALHO, MISTURAS I, A e II

Para maior facilidade de produção procurou-se definir, como faixa granulométrica considerada como referência média, a curva granulométrica da mistura A.

A faixa granulométrica, inicialmente proposta, tem como limite inferior a curva granulométrica da mistura I (figura 11), com MF = 2,44 e $\phi_{\max} = 2,4$ mm e tem na sua composição granulométrica as seguintes porcentagens retidas e acumuladas, respectivamente:

peneira 2,40 mm = 0,00 ; 1,20 mm = 14% e 14% ; 0,60 mm = 40% e 54% ;
0,30 mm = 30% e 84% ; 0,15 mm = 8% e 92% e fundo = 8% e 100% .

A mistura A (figura 11), que apresenta MF = 2,61 e $\phi_{\max} = 2,4$ mm, considerada como referência da faixa granulométrica, tem na sua composição granulométrica as seguintes porcentagens retidas e acumuladas, respectivamente:

peneira 2,40 mm = 0,00; 1,20 mm = 18% e 18%; 0,60 mm = 40% e 58%;
0,30 mm = 30% e 88%; 0,15 mm = 9% e 97% e fundo = 3% e 100%.

A faixa granulométrica, inicialmente proposta, tem como limite superior a curva granulométrica da mistura II (figura 11) que apresenta $MF = 2,76$ e $\phi_{max.} = 2,4$ mm e tem na sua composição granulométrica as seguintes porcentagens retidas e acumuladas, respectivamente:

peneira 2,40 mm = 0,00 ; 1,20 mm = 22% e 22% ; 0,60 mm = 40% e 62% ;
0,30 mm = 30% e 92% ; 0,15 mm = 8% e 100% e fundo = 0,00.

3.2.1.8. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS MISTURAS I, A e II

(γ_s) POR MEIO DO PICNÔMETRO

As massas específicas dos traços 1: 0,50: 0,46 compostos com as misturas I, A e II, foram determinadas de acordo com a Norma NBR-6508/84.

3.2.1.9. DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS DA MISTURA EXPERIMENTAL

DO PROCESSO DE ADENSAMENTO TIPO PRENSAGEM

Uma vez determinadas a massa específica (γ_s) do pó de serra, a massa unitária no estado seco solto (γ_{ss}) e a massa unitária no estado seco compactado (γ_{sc}), calcula-se a massa específica inicial (γ_{si}) para a determinação do inchamento e, através de fórmulas de correlação, os valores dos índices de vazios e porosidade no estado seco solto (e_{ss} , n_{ss}), seco

compactado (e_{sc} , n_{sc}) e seco inicial (e_{si} , n_{si}).

3.2.1.10. ESCOLHA DA MISTURA GRANULOMÉTRICA CONSTITUINTE DO PRODUTO FINAL

Em princípio, entende-se que cada mistura (A, B, C, D e E) confira ao produto um desempenho compatível com a sua granulometria (expressa através do MF). Cada mistura de composição granulométrica definida dará, de acordo com o processo e com a energia de adensamento utilizada, uma quantidade de pasta de cimento por cm^3 de argamassa que, após endurecida, ditará as características no produto final.

Escolheu-se, para compor a argamassa, a mistura A, considerando-se nesta escolha as seguintes características:

- massas (γ_s , γ_{ss} , γ_{sc} , γ_{si}) menores do que as das outras misturas, levando à obtenção de um produto mais leve;
- maior economia energética por ocasião da recuperação e transformação em pó, de restos de madeira; a composição granulométrica da mistura constará predominantemente de partículas maiores, desta forma exigindo menos trabalho das máquinas e resultando daí economia ao produto final;
- a mistura, constituída de partículas maiores, terá, conseqüentemente, superfície específica menor; desta forma, a relação entre a massa do aglomerante hidráulico (constante em todas as misturas) e a superfície específica do pó será maior, resultando daí em camadas mais espessas de pasta em torno das partículas.

- as partículas nas dimensões propostas têm menor expansão retração do que as demais. A espessura da pasta endurecida em torno das partículas serão mais espessas; com isso a pasta de cimento, após endurecida, poderá ajudar o produto a ter um desempenho melhor quando for solicitada pelas tensões produzidas, resultado das movimentações das partículas.

3.2.1.11. ESCOLHA DO TIPO E DA ENERGIA DE ADENSAMENTO : TRAÇOS EXPERIMENTAIS

Considerando-se que o produto resultante do material em questão pode ser compactado com energias de diversas intensidades; que para cada energia ter-se-á índices físicos diferentes; que para cada série de índices físicos ter-se-á respostas físicas, químicas e mecânicas diferentes; que a compactação poderá ser manual, manual-mecânica ou mecânica e o material vibrado e/ou prensado, tornou-se necessário definir o processo e energia de adensamento das argamassas que constituirão as placas pré-moldadas.

Para isto, tomou-se como parâmetro comparativo os resultados obtidos nos ensaios da resistência mecânica a compressão simples, da massa específica aparente, da facilidade e da economia de produção. Os corpos de prova submetidos aos ensaios foram confeccionados nos traços 1: 0,50: 0,46 ; 1: 0,25: 0,68 ; 1: 0,50: 0,98 ; 1: 0,75: 1,28 e 1: 1,00: 1,58 , com as misturas I e II. Foram produzidos corpos de prova nas condições para o adensamento no processo tipo prensagem (figuras 8 e 9) e no processo tipo vibração mecânica (figura 20).

A metodologia utilizada para o adensamento da argamassa no processo de prensagem foi a da ABNT (NBR-7182/84).

O ensaio de compactação, propriamente dito, consistiu em compactar, em 2, 3, 4 ou 5 camadas, dentro de um cilindro de $1,0 \text{ dm}^3$ de volume e com o auxílio de um soquete de 2,5 kg de peso, caindo em queda livre de uma altura de 30 cm, porções de pó de serra (misturas I e II), cimento e água, no traço 1 de cimento: 0,50 de pó de serra: água (em quantidade variável, aplicada de forma crescente), de tal maneira que resultasse, para cada número de camadas compactadas, uma máxima massa específica para um teor de umidade considerado ótimo.

A compactação em camadas mostrou que seu número deve ser limitado em 5; que, além desse número, a energia de compactação cresce, mas não decresce proporcionalmente a massa específica do corpo de prova; que em 5 camadas, a espessura da argamassa compactada fica em torno de 2,0 cm, sendo, esta, aproximadamente, a espessura mínima que a placa pré-moldada acabada deverá ter.

A energia aplicada pelo ensaio normal de compactação é dada pela fórmula:

$$E = (p.L.n.N)/V \quad \text{onde:}$$

E = energia aplicada à mistura, por unidade de volume ($\text{daN/cm}^2/\text{cm}^3$);

p = peso do soquete (daN);

L = altura de queda do soquete (cm);

n = número de camadas;

N = número de golpes aplicados a cada camada;

V = volume do molde cilíndrico (cm^3).

A metodologia utilizada para o processo de adensamento do tipo vibratório

mecânico foi o da ABNT (NBR-7215/91).

Confeccionou-se três corpos de prova para cada um dos quatro traços experimentais. Resultaram em argamassas de consistência plásticas.

Os traços utilizados para a comparação entre os dois tipos de adensamento foram:
processo de adensamento do tipo prensado - traço 1: 0,50: 0,46
processo de adensamento do tipo vibração mecânica - traço 1: 0,50: 0,98

Respeitando-se os critérios estabelecidos e comparando-se os resultados obtidos nos ensaios, optou-se pelo processo de adensamento do tipo vibração mecânica (figura 20).

3.2.1.12. ESCOLHA DOS TRAÇOS, EM MASSA, DAS ARGAMASSAS QUE CONSTITUIRÃO O PRODUTO FINAL - PLACAS PRÉ-MOLDADAS

O traço será representado por: **a: p: x** onde:

a - representa a quantidade, em massa, do aglomerante hidráulico;

p - representa a quantidade, em massa, do pó de serra;

x - representa a quantidade, em massa, de água potável em relação à quantidade, em massa, de cimento Portland, sendo a quantidade de água aquela indicada pelo ensaio de expansão do pó.

Na definição dos traços buscou-se obter produtos de massa específica aparente, respectivamente, em torno de 1.150 kg/m^3 e resistência à compressão simples aos 14 dias, em torno de 10 MPa, e outro de massa específica aparente de aproximadamente 800 kg/m^3 , com resistência à compressão simples em torno de 1,0 Mpa.

A escolha destes limites (massa específica aparente e resistência a compressão simples) foram estabelecidos, com o objetivo de conhecer-se o comportamento do produto nestes extremos. Dessa forma saber que é possível obter, com outros traços, os resultados intermediários.

Para a compactação das argamassas utilizadas na produção das placas pré-moldadas foi escolhido o sistema de adensamento do tipo vibratório mecânico (figura 20).

Confeccionou-se, nos traços definidos, corpos de prova que, por sua vez, foram submetidos a ensaios. Usou-se as misturas indicadas nas curvas granulométricas limites I e II, representativas da faixa da mistura A. Foram determinadas as massas específicas real e aparente das composições homogeneizadas de cimento e misturas I e II, no traço 1: 0,5.

3.2.2. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO FINAL

Inicialmente determinou-se, para os dois traços, o consumo de materiais por m³ de argamassa. Para a realização dos ensaios de caracterização físico-mecânico propôs-se desenvolver duas séries de corpos de prova. A série “A”, representando o traço 1: 0,25: 0,68, e a série “B”, representando o traço 1: 0,5: 1,53. Para cada série efetuou-se quatro repetições (A1; A2; A3; A4, e B1; B2; B3 e B4). Em cada repetição, tirados de uma mesma amassada, foram moldados: três placas de 2,0x50,0x50,0 cm para o ensaio de flexão e combustibilidade; três cp (corpos de prova) cilíndricos de ϕ (diâmetro) 5,0 cm x 10 cm de altura, para o ensaio de compressão simples (figura 12); três cp de ϕ 5,0 cm x 10 cm de altura, para o ensaio de absorção de água; três cp tipo “biscoito” (figura 13) para o ensaio

de tração simples; três cp de 6,0x12,0x24 cm para o ensaio de condutibilidade térmica; três cp de ϕ 10,0 cm x 5,0 cm de altura, para os ensaios de arrancamento; três cp de ϕ 4,3 cm x 5,0 cm de altura, para o ensaio de comportamento acústico; quatro cp de ϕ 10 cm x 20 cm de altura, para o ensaio de compressão usados para a determinação do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson (figura 16). Os corpos-de-prova referentes aos ensaios de flexão, compressão simples, tração simples, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e absorção de água, foram ensaiados aos 14 dias. Os demais foram ensaiados quando obtiveram constância de peso em relação às condições ambientais.

Os componentes dos traços foram misturados em betoneira de eixo inclinado e de capacidade de 180 litros. A moldagem dos corpos-de-prova obedeceu, sempre que possível, às normas da ABNT e demais normas correlatas. A cura foi realizada em câmara úmida, por um período de três dias.

A seguir, estão descritos os ensaios realizados para cada série proposta.

3.2.2.1. DETERMINAÇÃO DAS QUANTIDADES DE COMPONENTES POR METRO CÚBICO DE ARGAMASSA.

Foram confeccionados corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra no traço 1: 0,25: x, com x (relação água/cimento em peso), variando de 0,00; 0,50; 0,60; 0,68; 0,70 e 0,80, e no traço 1: 0,50: x, com x variando de 0,00; 1,30; 1,40; 1,50; 1,53 e 1,60. As medidas de volume foram feitas logo após o lançamento e o adensamento da argamassa na fôrma. Após os corpos de prova passarem pelo período de cura, endurecimento e secagem

ao ar, foram periodicamente pesados, até constância de peso, ocasião em que foi determinada a massa específica aparente relacionada a cada traço confeccionado.

3.2.2.2. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

A metodologia aplicada a este ensaio foi aquela determinada pela norma NBR-7215/91, com as adaptações referentes à energia de compactação (figura 12). A argamassa de traço 1: 0,25: 0,68 apresentou consistência plástica para úmida, enquanto que a de traço 1: 0,50: 1,53 apresentou consistência plástica.

3.2.2.3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO SIMPLES

A metodologia observada na realização deste ensaio foi aquela descrita na norma ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL) - C190-77 - “Tensile strength of hydraulic cement mortars”, com as devidas adaptações introduzidas na aplicação da energia de compactação (figura 13).

A argamassa de traço 1: 0,25: 0,68 apresentou consistência plástica para úmida enquanto que a de traço 1: 0,50: 1,53 apresentou consistência plástica.

3.2.2.4. ENSAIO DE FLEXÃO DAS PLACAS

Após 14 dias de moldagem, as placas foram pesadas em uma balança eletrônica, com aproximação de $0,05 \text{ daN}^1$, adequadamente montada sobre uma mesa fixa e em nível (figura 14), e instalados dois relógios comparadores (precisão de $0,001 \text{ mm}$) com a finalidade de medirem os deslocamentos verticais da placa por ocasião do carregamento. Os relógios comparadores foram instalados nos extremos livres da faixa central de 5 cm de largura, paralela aos apoios da placa. O esquema estático adotado foi o bi-apoiado com carregamento ao longo de uma faixa central sobre a qual eram aplicadas as cargas. O centro da faixa foi marcada com lápis cera para servir de guia ao carregamento e para a instalação dos relógios comparadores. As cargas foram constituídas de placas de chumbo de pesos variáveis, individualmente taradas e marcadas. Aplicado o carregamento, aguardava-se até a estabilização do seu deslocamento (considerado aqui como deslocamento total δ_t), para em seguida retirá-lo, aguardando-se o retorno do deslocamento até a sua estabilização na condição não carregada (considerada aqui como deslocamento residual δ_r). A diferença entre as medidas dos deslocamentos total e residual foi considerado como deslocamento elástico ($\delta_{el} = \delta_t - \delta_r$).

Foram anotados, então, os resultados dos carregamentos aplicados nas placas com seus respectivos deslocamentos.

A ruptura ocorria, obviamente, segundo um plano provável (figura 15).

¹ $1 \text{ daN} = 1 \text{ kgf}$

3.2.2.5. ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (E) E DO COEFICIENTE DE POISSON (ν)

Foram realizados ensaios de compressão de seis cp de ϕ 10 cm x 20 cm de altura, capeados, instrumentados e submetidos à compressão simples. Os extensômetros utilizados foram do tipo S-108, com fator do extensômetro $K= 1,99$, colocados em quatro posições diametralmente opostas, sendo dois colocados para medir a deformação longitudinal (ϵ_v) e dois para medir a deformação transversal (ϵ_{tr}).

Foi utilizada uma prensa universal de capacidade igual a 40.000 daN (figura 16), e utilizada a escala de força de 10.000 daN. Nos três corpos-de-prova de traço 1: 0,25: 0,68, a velocidade de aplicação da carga foi de 350 daN/s. As leituras foram feitas a cada incremento de 500 daN. Nos três corpos-de-prova de traço 1: 0,5: 1,53, a velocidade de aplicação da carga foi de 5,0 daN/s, e o intervalo de leitura correspondendo a cada incremento de 50 daN, na escala de força de 2.000 daN,

Para a leitura das deformações foi utilizada a ponte de Wheatstone. A constante do aparelho foi de $K= 2,0$, fazendo-se a necessária correlação entre o extensômetro e a ponte. Para definir-se a escala de força, a velocidade de aplicação da carga e o intervalo de carga para a leitura das deformações, foi rompido primeiramente um corpo-de-prova para cada traço.

Utilizou-se um corpo-de-prova do traço 1: 0,25: 0,68 como fator compensador, com o objetivo de eliminarem-se as diferenças de deformações dos distintos materiais do corpo-de-prova e do extensômetro, devido à variação da temperatura.

3.2.2.6. MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA (α_n) USANDO-SE O TUBO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS

A norma ASTM 384-85 forneceu os procedimentos sobre a medição de coeficiente de absorção sonora (α_n) no tubo de onda estacionária (também conhecido como tubo de impedância).

A figura 17, mostra a montagem necessária para a medição do coeficiente de absorção em tubo de onda estacionária. Tal tubo possui um alto-falante colocado em uma de suas extremidades, enquanto que a outra é fechada por tampa onde é fixada a amostra do material a ser medido (ϕ 4,3 cm x 5,0 cm de altura). O alto falante é conectado a um gerador de sinais senoidais e amplificado de modo a produzir, dentro do tubo, uma onda estacionária. A pressão acústica da onda estacionária é captada por um microfone inserido na extremidade da sonda. A sonda pode percorrer toda a extensão do tubo de impedância, permitindo deste modo a leitura do nível de pressão acústica (através do sinal amplificado do microfone), e também a leitura numa escala que indica a distância entre a amostra e o ponto de medida.

No tubo de impedância existe somente ondas planas excitadas por tons puros abaixo da frequência de corte.

O campo sonoro existente no tubo de impedância é composto de duas ondas planas, sendo uma incidente e outra refletida.

A leitura no amplificador de medição fornece o valor médio quadrático (no tempo) da pressão acústica.

Na figura 17 está indicada também a variação de P_{\max}^2 (valor médio quadrático da

pressão sonora) em relação à distância x .

O coeficiente de absorção acústica para incidência normal α_n é definido por

$$\alpha_n = I_a/I_i = 1 - I_r/I_i \quad \text{onde:}$$

I_a é a intensidade acústica absorvida

I_i é a intensidade incidente

I_r é a intensidade refletida

Tem-se então que a intensidade acústica I é proporcional à amplitude quadrática da pressão da onda, o que permite expressar o coeficiente de absorção acústica como:

$$\alpha_n = 1 - [B1/A1]^2 = 4ROE/(ROE+1)^2 \quad (1)$$

onde:

$A1$ e $B1$ = amplitude quadrática de pressão

ROE é a razão de onda estacionária, definida como:

$$ROE = (A1 + B1)/(A1-B1) = 10^{L/20} \quad (2)$$

onde:

L é a diferença do nível entre P_{\max} e P_{\min} em dB, ou $L = 10 \log(P_{\max}^2 / P_{\min}^2)$.

Para o cálculo do coeficiente de absorção α_n no tubo de impedância observou-se os seguintes passos:

a) Mediu-se a primeira pressão sonora máxima P_{\max} mais perto da superfície da amostra e a primeira mínima P_{\min} ;

b) Com os valores de P_{\max} e P_{\min} calculou-se L :

$$L = 10 \log (P_{\max}^2 / P_{\min}^2)$$

c) Com L calculou-se o valor de ROE usando-se a equação (2);

d) Com ROE calculou-se o valor de α_n usando-se a equação (1)

Foram ensaiados oito corpos de prova sendo quatro do traço 1: 0,25: 0,68 e quatro do traço 1: 0,50 : 1,53, com massas específicas diferentes. Foram determinados os coeficientes de absorção para as frequências de 250, 500, 1000 e 2000 Hz que são valores utilizados em acústica arquitetônica. Os dados do nível de pressão sonora, medidos em dB, foram tomados de 2,0 em 2,0 cm, baseados no comprimento da onda, calculado por $\lambda = c/f$, onde λ é o comprimento da onda em m; c é a velocidade do som no ar (considerado 340 m/s) e f a frequência em Hz.

3.2.2.7. ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (λ)

A condutibilidade térmica (λ) é uma propriedade do material, a qual indica a grandeza do fluxo de calor que, dentro de uma temperatura conhecida, atravessa a superfície do compósito sob efeito de um gradiente de temperatura na direção normal a superfície.

Este ensaio foi realizado na Escola de Engenharia de São Carlos, USP, no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras, sendo utilizado o método do fio quente paralelo, segundo a DIN 51046/69. Neste trabalho utilizou-se, para determinar a condutibilidade térmica, Cp confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra graduado, nos traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53. O método de ensaio adotado é bastante simples, basea-se no conceito da linha geradora de calor, no caso, o fio quente.

Este método é aplicado a corpos de prova homogêneos, porosos ou densos, bem como em materiais pulverulentos, em grãos ou em espumas inorgânicas.

Neste ensaio são utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

- a) Fio de aço Kantal, diâmetro 0,3 mm e resistividade de 7,88 Ω/m , comprimento 240 mm;
- b) fios condutores de cobre com diâmetro de 2,0 mm, isolados, comprimento de 1000 mm;
- c) fonte de corrente contínua modelo HP6442-B;
- d) termopares tipo T, cobre-constantan, diâmetro 0,226 mm;
- e) sistema de aquisição de dados (SAD) HP3497A, com placas de aquisição de dados HP44421-A;
- f) microcomputador HP9825-B.

A figura 19 mostra o arranjo esquemático utilizado para determinar a condutibilidade térmica através do método do fio quente paralelo.

Foram ensaiados quatro pares de Cp, designados por Cp_I, Cp_{II}, Cp_{III} e Cp_{IV}; o Cp_I constituiu-se dos Cp 1 e 2; o Cp_{II}, dos Cp 3 e 4; o Cp_{III}, dos Cp 5 e 6 e o Cp_{IV}, dos Cp 7 e 8.

O teor médio de umidade dos Cp foi aproximadamente igual a 12%, sendo utilizado, como referencial, o Cp_I e o Cp_{IV} para os traços 1: 0,25: 0,68 , e 1: 0,50: 1,53 respectivamente.

O tempo de duração de cada ensaio foi de 2400", necessários para a estabilização das leituras. Os resultados gerais foram coletados em intervalos de 30" em 30". Para o cálculo da condutibilidade média (λ_m), escolheu-se uma seqüência de 4 resultados estabilizados (excluídos os picos) representativos de cada Cp (n=4).

3.2.2.8. ENSAIO DE COMBUSTIBILIDADE DA PLACA

O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP. Foi utilizado o ensaio Schlyter Modificado, é empregado no Forest Products Laboratory para avaliar a tendência de uma superfície à propagação vertical das chamas.

O aparelho de ensaio consiste de uma armação metálica destinada a sustentar dois painéis do material em teste nas posições vertical e paralela, um bico de gás (queimador próprio) e uma escala para a determinação da altura das chamas (figuras 19).

O corpo de prova tinha 30 cm de largura, 2,0 cm de espessura e 80,0 cm de comprimento, resultante do corte de placas de 2 x 50 x 50 cm, emendadas por meio de sarrafos pelo lado de fora da placa, sem penetração de cola entre a junta das placas para não provocar interferência no ensaio. Essas placas (figura 20) foram confeccionadas nos traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53, e adensadas sob vibração mecânica. O teor de umidade das placas, no momento do ensaio, foi $\leq 12,0\%$.

Os dois corpos de prova (placas) de um mesmo traço foram ajustados, de modo que as superfícies a serem ensaiadas, ficassem paralelas e separadas entre si de uma distância de 5 cm, com a base de uma delas 10 cm acima da base da outra.

Foi instalada uma escala (régua metálica) atrás do aparato de ensaio, para a determinação da altura das chamas durante o ensaio, de modo que as graduações fossem visíveis quando observadas por entre os corpos de prova.

No ensaio das placas produzidas com o traço 1: 0,25: 0,68, as mesmas foram colocadas com as faces opostas. No ensaio das placas produzidas com o traço 1: 0,5: 1,53,

material de massa específica menor, foram feitos dois ensaios, um para cada face da placa. Isso foi necessário em razão do seu processo de produção. A vibração conduz os finos para baixo, em contato com a face lisa da forma, ficando a razão cimento/pó maior do que aquela da face oposta.

Como queimadores foi utilizado um bico de gás tipo Meker nº 4, com um “T”, especialmente construído, adaptado na parte superior (figura 21).

A peça em forma de “T” foi constituída por um pedaço de tubo de latão com 13 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro externo, tendo as extremidades fechadas.

O “T” deve possuir duas fileiras de doze furos com 3,3 mm de diâmetro, furados na parte superior e a 9,5 mm do centro, com um ângulo de aproximadamente 45° com a vertical.

Os orifícios de ar do queimador são regulados para produzir chamas azuis no topo, quando o gás (poder calorífico de 8.600 kcal/m³) é regulado para um fluxo de 0,5 m³/hora.

O queimador foi inserido entre os painéis, equidistante das faces e das suas extremidades laterais, mantendo-se o “T” paralelo às faces dos corpos de prova (figura 22).

A altura da chama sobre os painéis foi registrada imediatamente após iniciado o ensaio e, a partir de então, a intervalos de 15 segundos (figura 22).

Com relação às chamas desenvolvidas durante o ensaio, as seguintes informações foram obtidas: altura das chamas quando o queimador é removido; instante em que as chamas ultrapassam o topo da armação; altura máxima atingida pelas chamas; instante em que toda chama cessa; velocidade de propagação das chamas em algum intervalo de tempo desejado e, também o instante em que toda incandescência cessa.

3.2.2.8.1. ENSAIO DE COMBUSTIBILIDADE EM PLACAS CONFECCIONADAS

COM TRAÇO 1: 0,25: 0,68

O ensaio foi programado para três estágios de 180" cada um, num total de 540 segundos de exposição ao fogo, com medidas de altura de chama (h) de 15 em 15 segundos. No primeiro estágio (0 a 180 segundos) o fogo foi regulado para ter somente chama azul; para o segundo estágio (180 a 360 segundos), o fogo foi regulado para ter chama azul e amarela e, para o terceiro estágio (360 a 540), o fogo foi regulado com chama azul e amarela mais intensa.

3.2.2.8.2. ENSAIO DE COMBUSTIBILIDADE EM PLACAS CONFECCIONADAS

COM TRAÇO 1: 0,50: 1,53

O ensaio foi programado para ter três estágios de 180" cada um, com medidas de altura de chama feitas a cada 15 segundos.

No primeiro ensaio, o tempo de exposição ao fogo das placas (face lisa voltada para a chama) teve a duração de 570 segundos divididos em três estágios. O primeiro estágio teve a duração de 180 segundos (período de 0 a 180) com o fogo regulado com chama azul; o segundo estágio teve a duração de 270 segundos (período de 180 a 450) com o fogo regulado com chama azul e amarela e o terceiro estágio teve a duração de 105 segundos (período de 465 a 570) com o fogo regulado com chama azul e amarela mais intensa.

No segundo ensaio, o tempo de exposição ao fogo das placas (face áspera voltada para a

chama) teve a duração de 600 segundos divididos em três estágios. O primeiro estágio teve a duração de 180 segundos (período de 0 a 180) com o fogo regulado com chama azul; o segundo estágio teve a duração de 300 segundos (período de 180 a 480) com o fogo regulado com chama azul e amarela e o terceiro estágio teve a duração de 120 segundos (período de 480 a 600) com o fogo regulado com chama azul e amarela mais intensa.

3.2.2.9. ENSAIO DE ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

Oito ganchos foram fixados, com rosca auto-atarraxante, comercialmente conhecido como nº 19 x 60, em oito corpos de prova ϕ 10,0 cm x 5,0 cm de altura, sendo quatro cp de traço 1: 0,25: 0,68 e quatro de traço 1: 0,50: 1,53. A fixação se deu pelo rosqueamento do gancho até a penetração de 1,5 cm. Em seguida, o cp foi colocado sobre um suporte de madeira, com o gancho voltado para baixo e nele pendurado uma travessa sobre a qual foram colocados pesos até o rompimento do cp ou soltura do gancho (figura 23).

3.2.2.10. ENSAIO DE CORTE

Várias placas, em formas e dimensões variadas, foram cortadas, utilizando-se, para esse serviço, as ferramentas: serrote e serra para corte de ferro, e máquina com disco de corte para argamassa normal e concreto, etc. (figura 24).

3.2.2.11. ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio consistiu em pesar e mergulhar em um recipiente com água potável, sete corpos de prova (ϕ 5,0 cm x 10,0 cm de altura) do traço 1: 0,25: 0,68 e oito cp do traço 1: 0,50: 1,53. Após 5, 15, 30 e 60 minutos; 24 horas; 7 e 8 dias, os corpos de prova foram retirados, secados superficialmente por instantes, pesados e novamente mergulhados na água. A operação se repetiu até que os corpos de prova apresentassem peso úmido constante.

Em seguida, os cp foram secos superficialmente por instantes e colocados em uma estufa regulada a 90°C. Foram periodicamente, nos espaço de tempo de 4, 8, 24, 28, 32, 48, 52 e 56 horas, retirados, pesados e retornados a estufa até que apresentassem peso seco constante. O cálculo do teor percentual de umidade absorvido pelo material foi:

$$\text{teor de umidade} = (\text{peso úmido} - \text{peso seco}) / (\text{peso seco}) \times 100. \text{ Resultado em (\%).}$$



figura 10 - Traço 1: 0,50 - 1000 g de CPV - ARI e 500 g de pó de serra (mistura II)

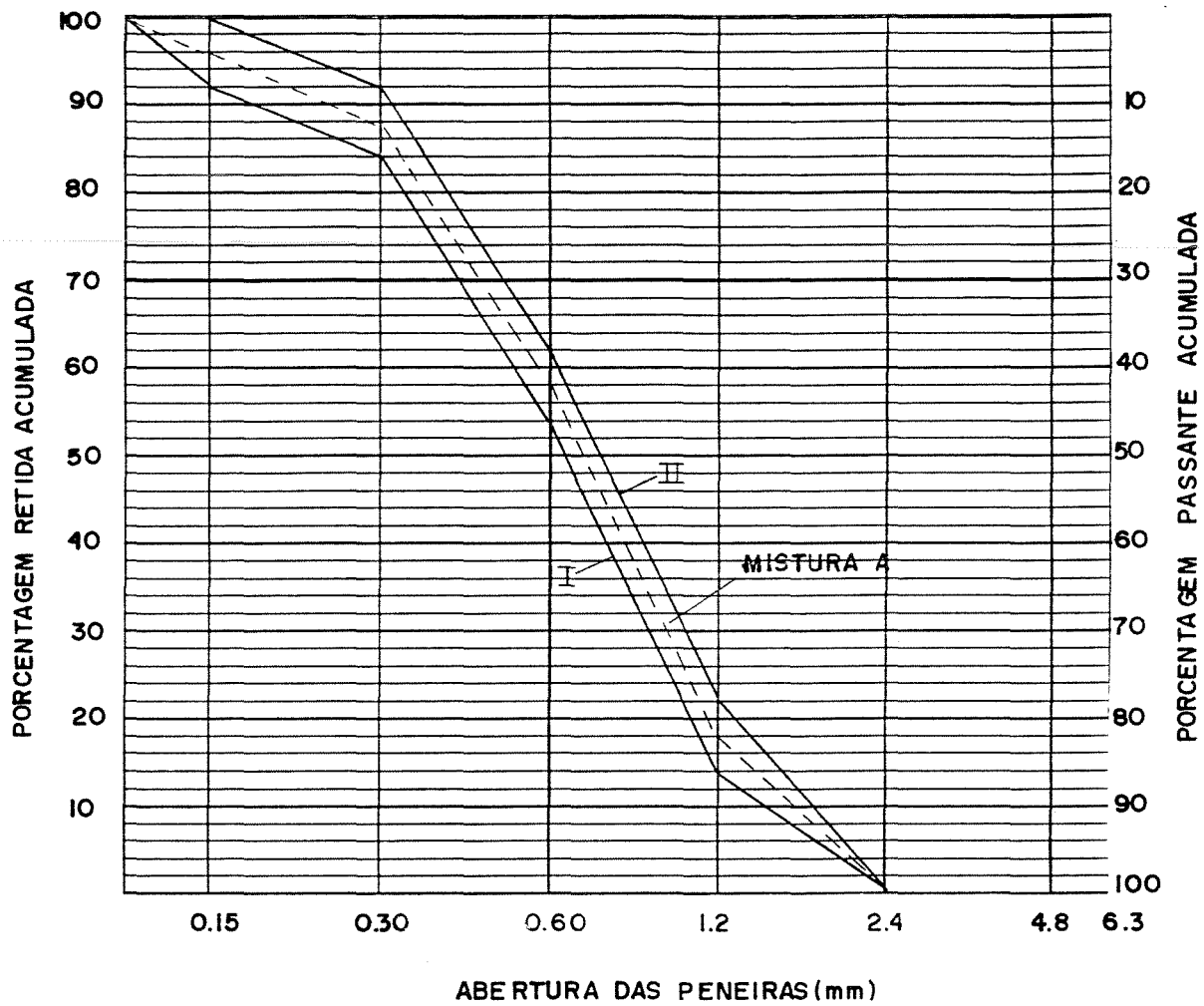


figura 11 - Gráfico da faixa granulométrica da mistura A limitada pelas curvas granulométricas características das misturas I e II

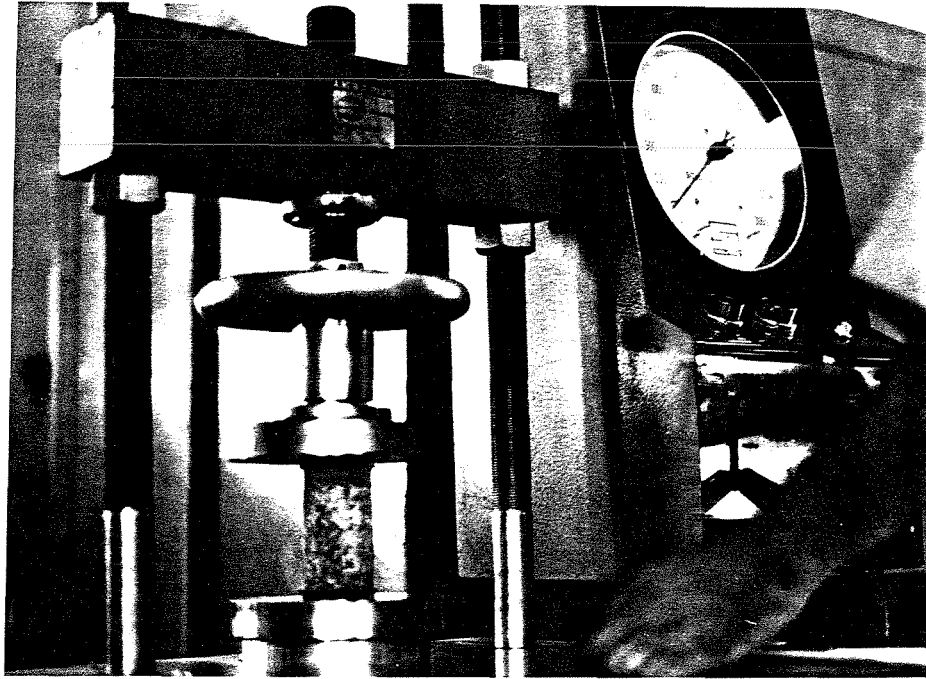


figura 12 - Ensaio de compressão simples de corpos de prova de ϕ 5 cm x 10 cm de altura

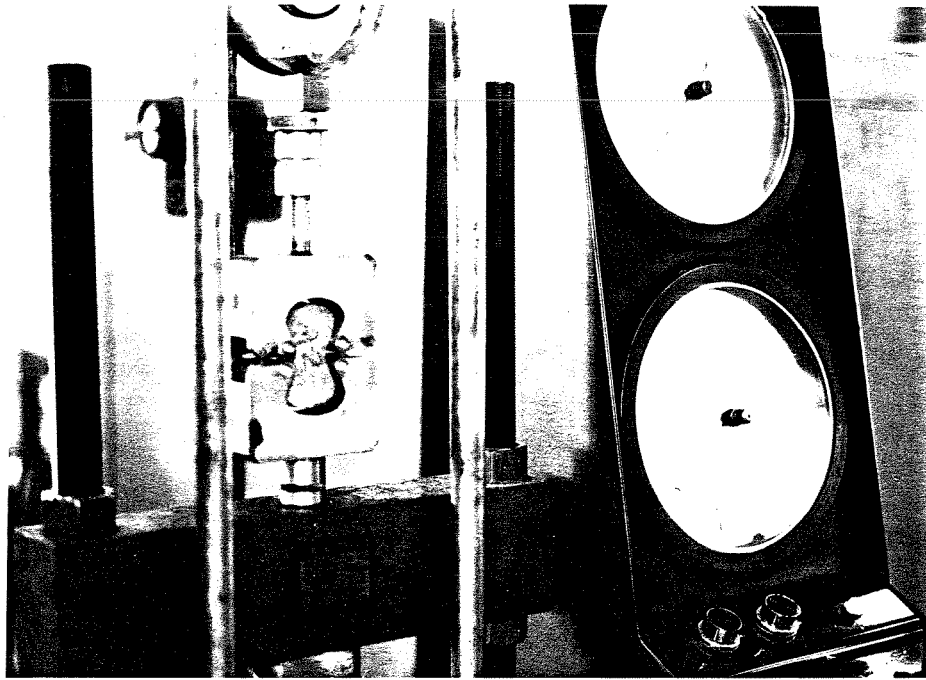


figura 13 - Ensaio de tração simples

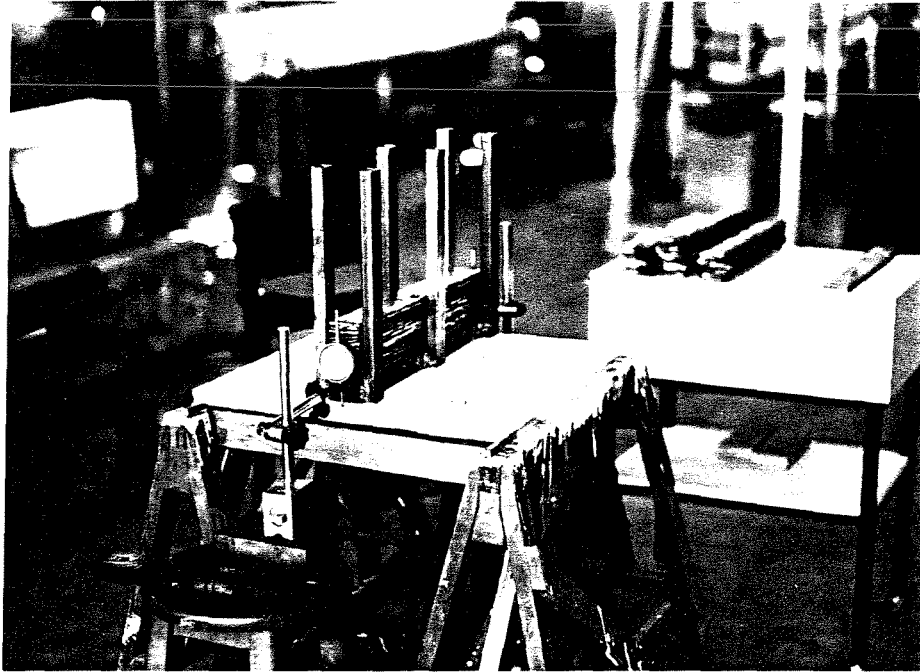


figura 14 - Ensaio de flexão da placa de 2 x 50 x 50 cm



figura 15 - Placas de 2 x 50 x50 cm, rompidas após a aplicação do ensaio de flexão

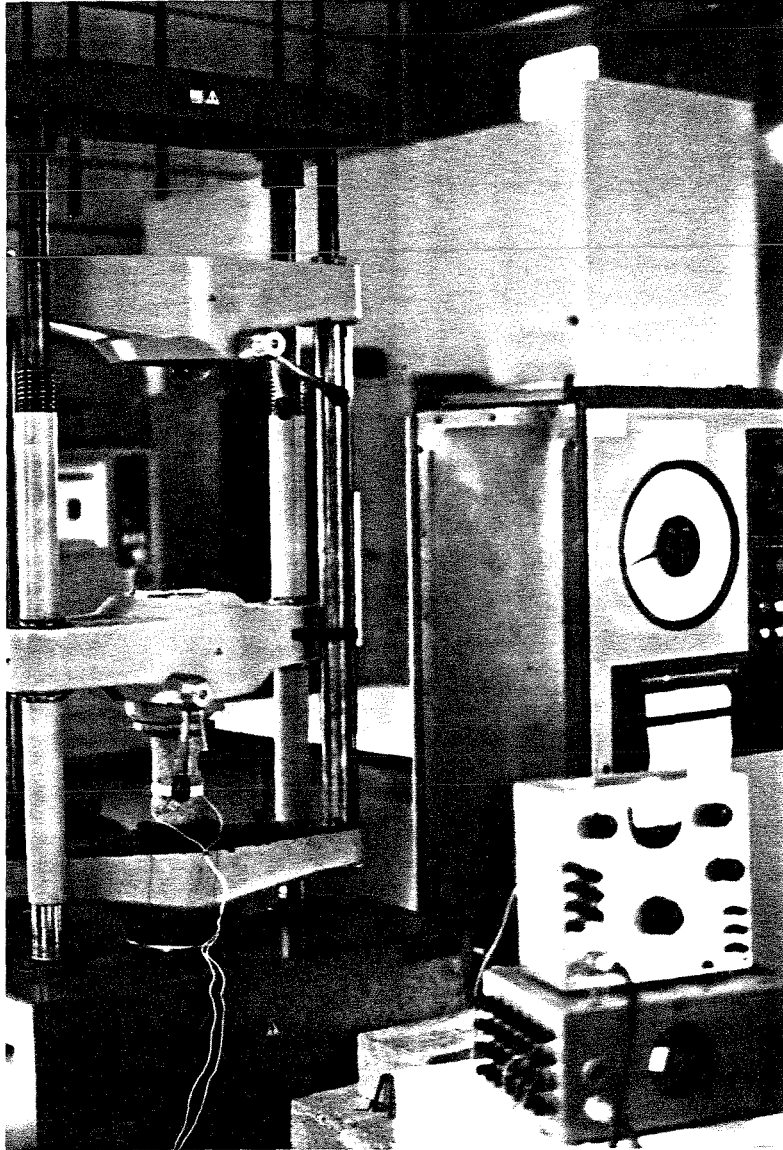


figura 16 - Ensaio de compressão - corpo de prova de ϕ 10 cm x 20 cm de altura

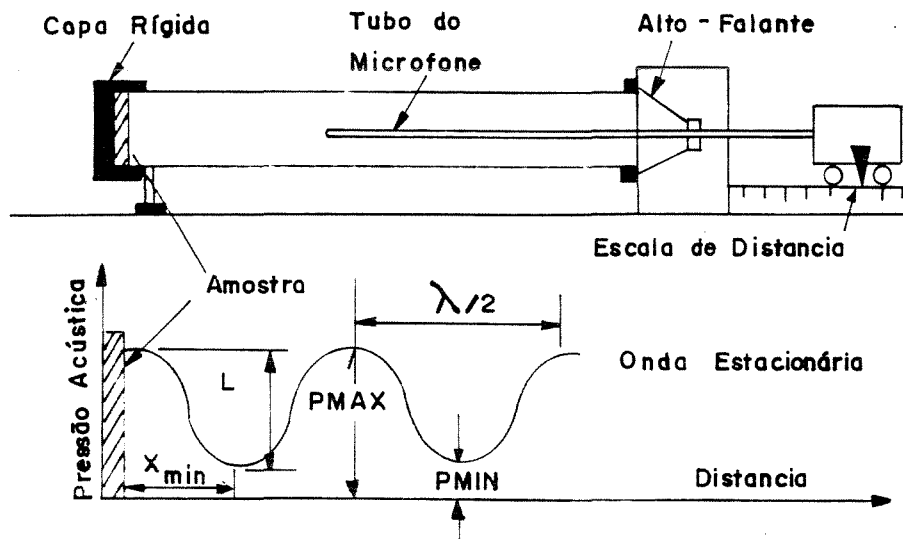


figura 17 - Medição de absorção acústica em tubo de onda estacionária

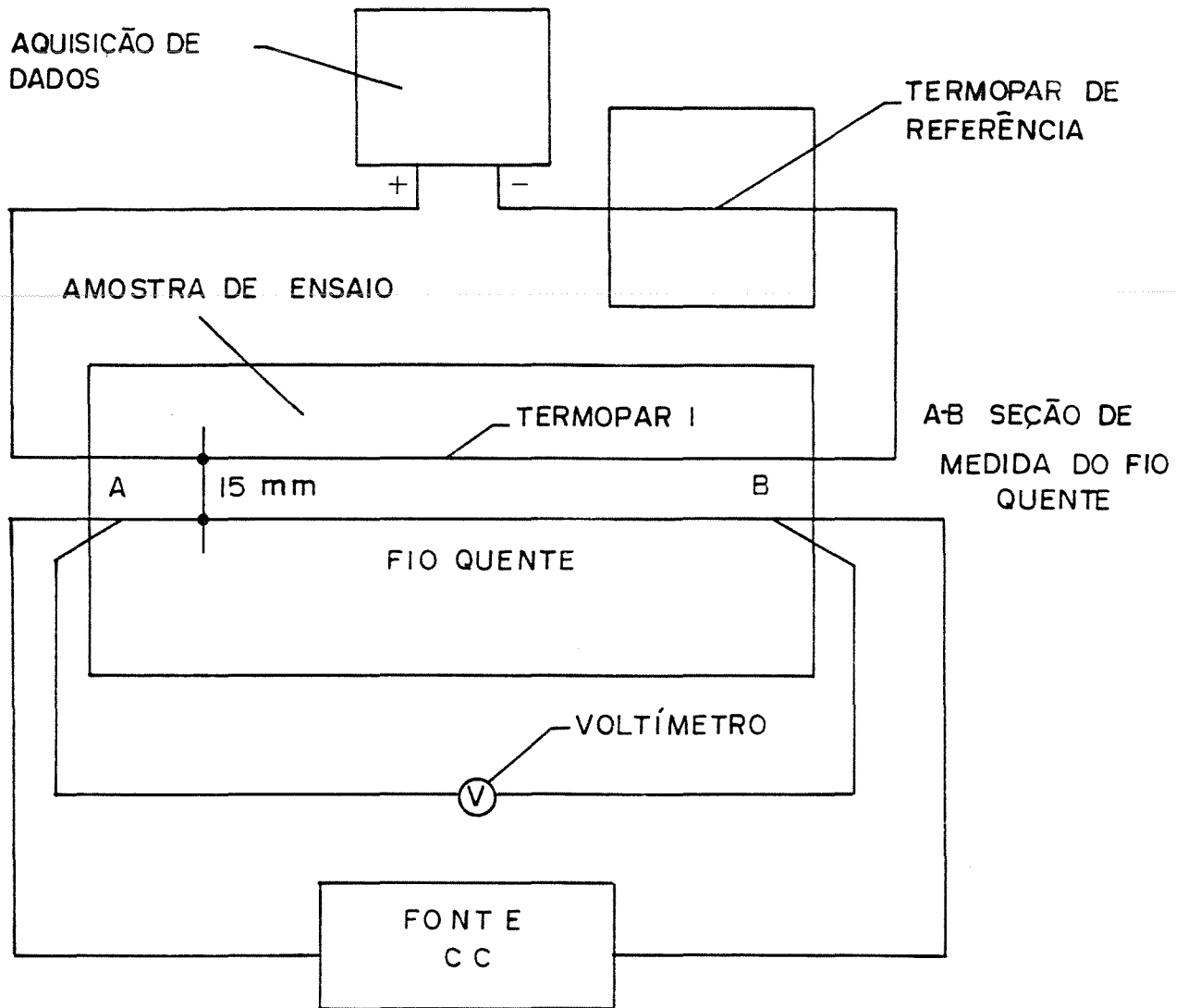


figura 18 - Arranjo esquemático do método do fio quente paralelo

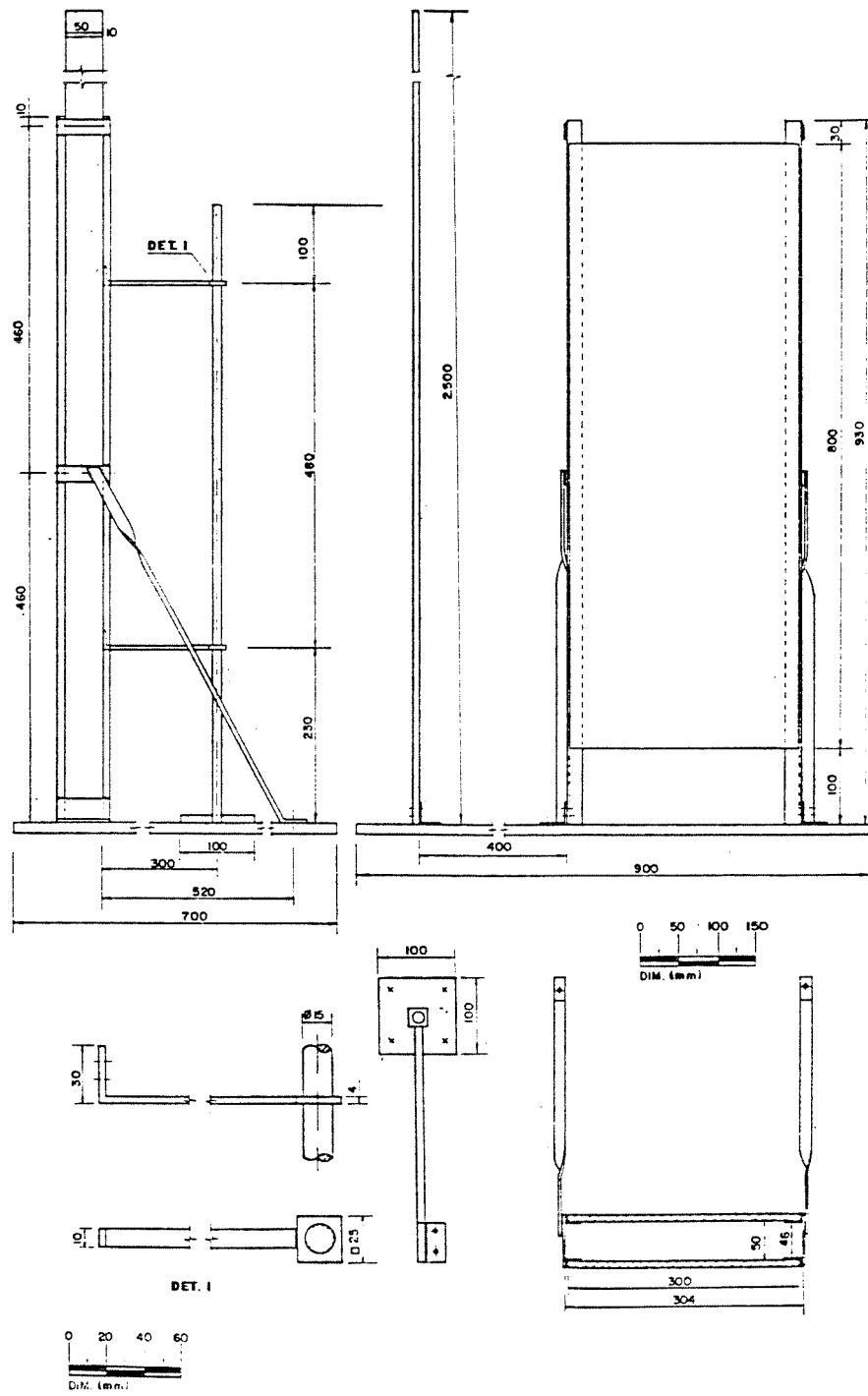


figura 19 - Esquema geral do aparelho e detalhes (ensaio Schijver Modificado)

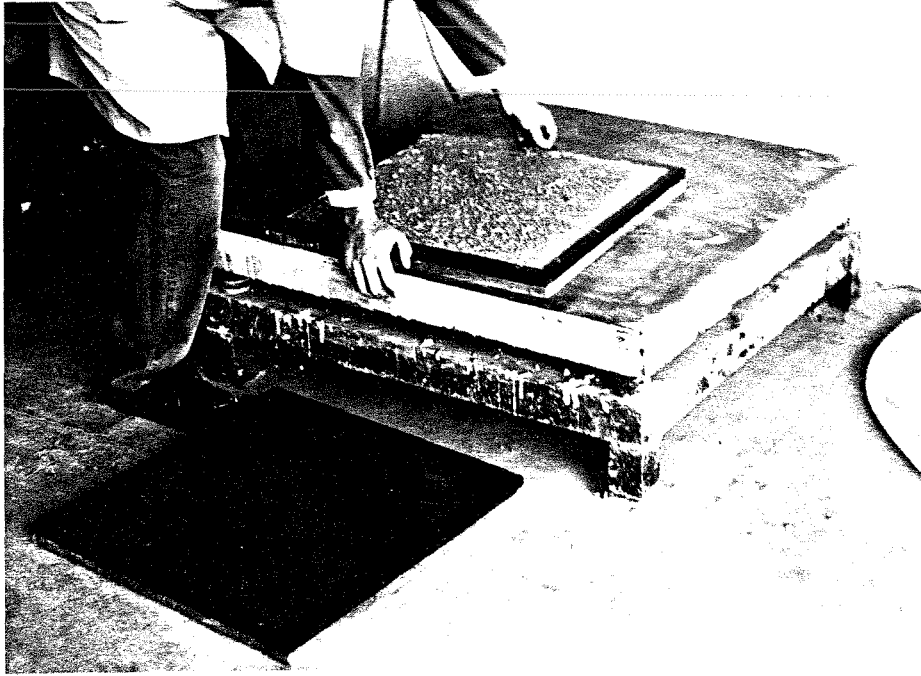


figura 20 - Processo de produção: vibração mecânica da placa de 2 x 50 x 50 cm

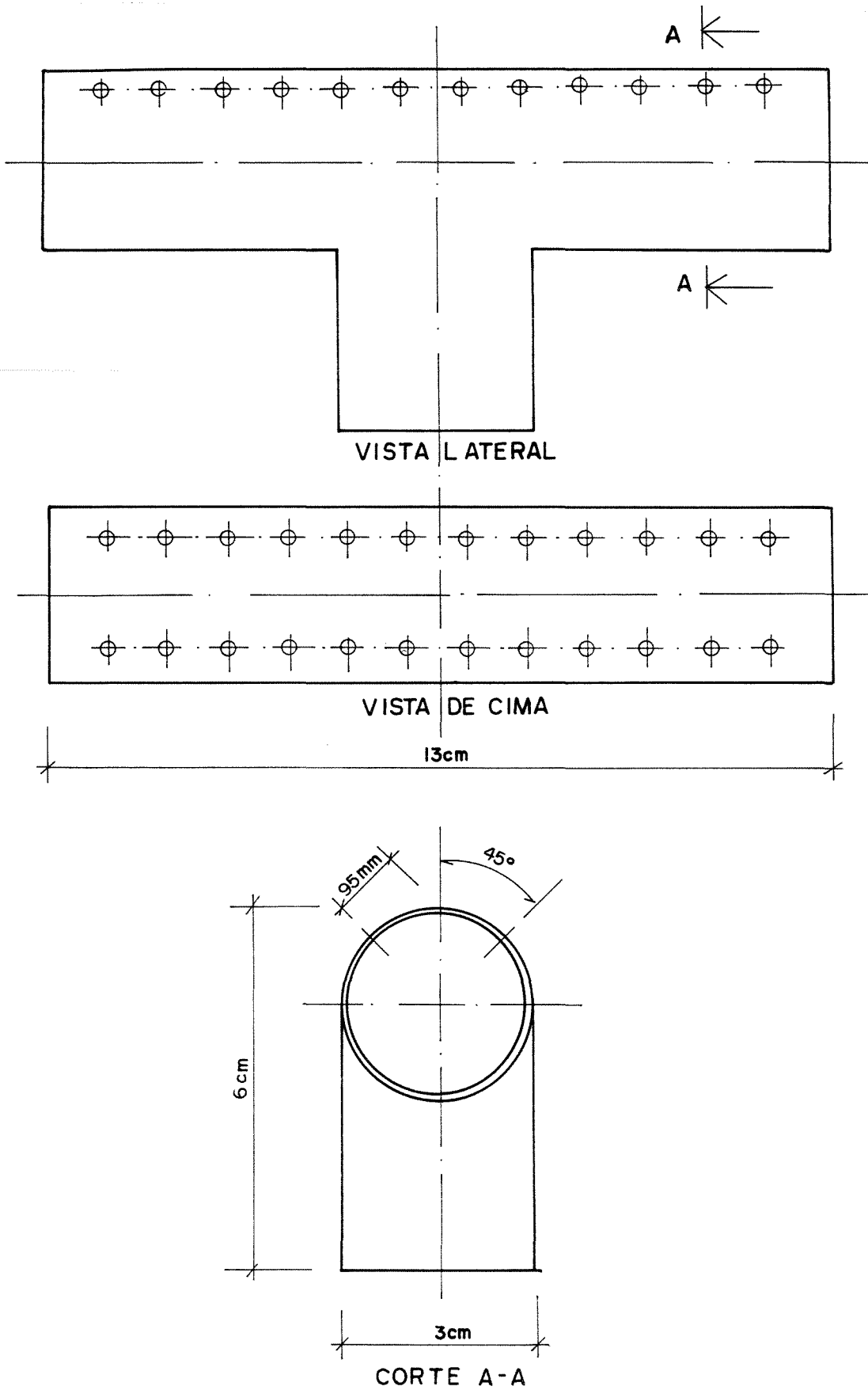


figura 21 - "T" especialmente construido para ser adaptado no queimador

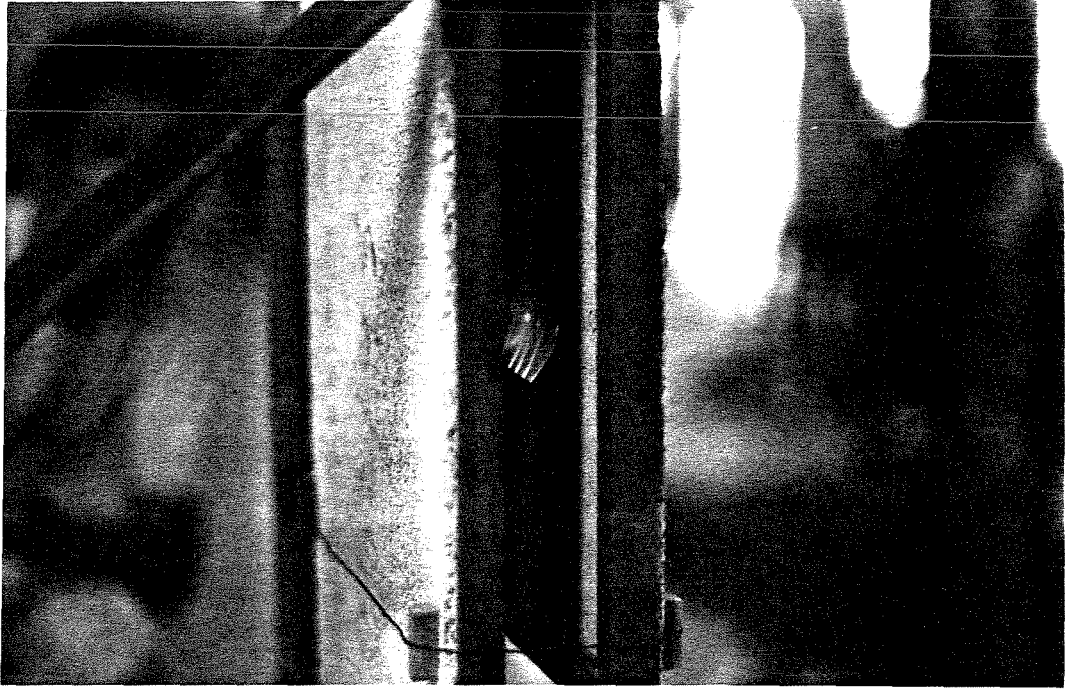


figura 22 - Ensaio de combustibilidade das placas: chama entre elas

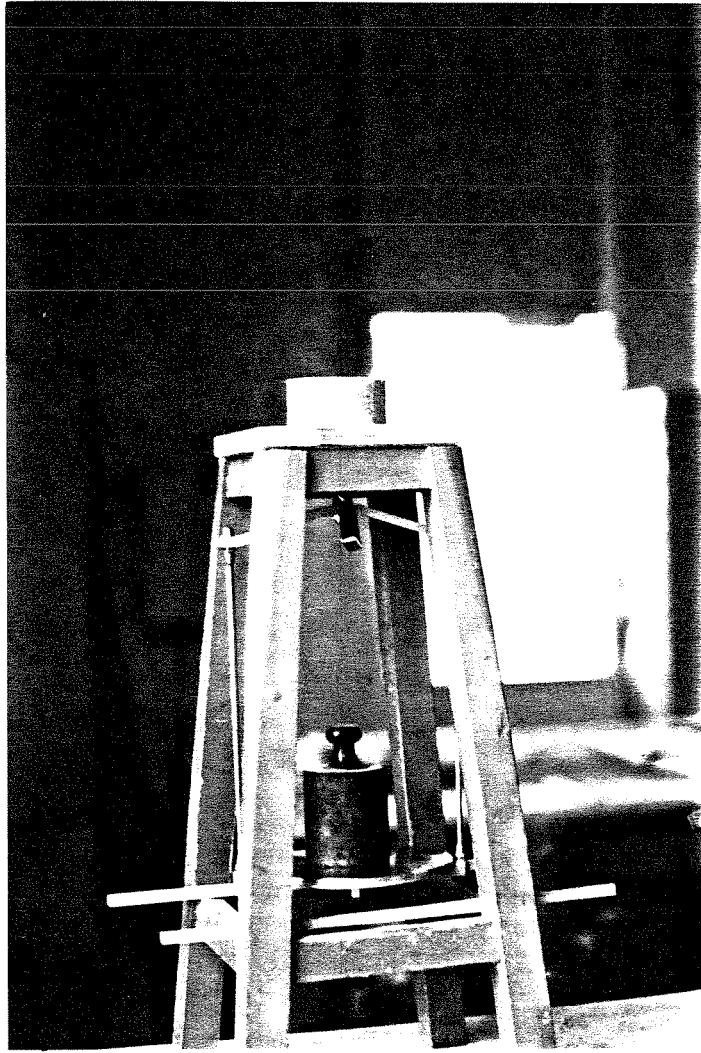


figura 23 - Ensaio de arrancamento de parafuso



figura 24 - Corte da placa

4. RESULTADOS

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os resultados das análises granulométricas aplicadas sobre as amostras A e B colhidas do silo 1 e nas tabelas 3 e 4 estão apresentados os resultados das análises granulométricas aplicadas sobre as amostras dos silos 2 e 3, constituídas pelos pós de serra das madeiras processadas industrialmente e que serviram de base para este trabalho. Na Tabela 5 estão relacionadas as composições granulométricas das misturas A, B, C, D e E, respectivamente.

Os dados obtidos dos ensaios de expansão referentes às misturas A, B, C, D e E, estão registrados nas Tabelas 6, 8, 10 e 12 respectivamente; as médias das três repetições dos dados de inchamento referidos anteriormente estão, por sua vez, apresentadas nas Tabelas 7, 9, 11, 13 e 15, respectivamente.

A figura 25 apresenta um gráfico de correlação entre o inchamento e a umidade em função do Módulo de Finura das misturas A, B, C, D e E.

Na Tabela 16 estão apresentados os índices físicos característicos das misturas empregadas, enquanto que a figura 26, por outro lado, mostra, graficamente, a correlação existente entre o Módulo de Finura e as massas específica e unitárias. Os parâmetros de

compactação do ensaio normal de Proctor para as misturas I e/ou II e/ou A (traço 1: 0,50), estão registrados na Tabela 17. Na Tabela 19 estão registrados os resultados dos índices físicos, e na Tabela 20, estão registrados os resultados médio, dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio de resistência a compressão simples, confeccionados com o traço 1: 0,50: 0,46, consistência seca, objetivando o sistema de adensamento do tipo prensado.

A tabela 18 registra os resultados das resistências médias, obtidas no ensaio de compressão simples, de corpos-de-prova, confeccionados nos traços 1: 0,25: 0,68 ; 1: 0,50: 0,98 ; 1: 0,75: 1,28 e 1: 1,00: 1,58, argamassas de consistências plástica, objetivando o processo de adensamento do tipo vibração mecânica.

Procurou-se adequar o x , relação água-cimento, à plasticidade e à trabalhabilidade dos traços. Escolheu-se para o trabalho os traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53 baseado nos resultados apresentados. Nas Tabelas 21 e 22 e figuras 27 e 28, onde estão registradas e representadas, respectivamente, as massas específicas aparentes e as quantidades de materiais componentes, calculados para argamassa de cimento (CP V - ARI) e pó de serra graduado (mistura A), nos traços 1: 0,25 e 1: 0,50, para diferentes valores de x (relação água/cimento em peso).

Os resultados de compressão simples aplicados aos corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traços 1: 0,25: 0,68, série "A" e 1: 0,50: 1,53, série "B" , estão apresentados nas Tabelas 23 e 24, respectivamente. De forma análoga, as tabelas 25 e 26 apresentam os resultados dos ensaios de tração simples.

Nas Tabelas 27 e 28 e figuras 29 e 30 estão registrados e representados os resultados dos ensaios de flexão aos quais foram submetidas as placas confeccionadas com argamassa de cimento e pó de serra, de traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53 , respectivamente. As

placas, bi-apoiadas, que tinham 2 x 50 x 50 cm, se caracterizavam por apresentarem, no primeiro caso, traço 1: 0,25: 0,68:

Módulo de Elasticidade = 3400 (MPa); coeficiente de Poisson = 0,17; pesos iguais a 5.850 daN (C_{p1}), 5.950 daN (C_{p2}) e 6.000 daN (C_{p3}), ou seja, peso médio igual a 5.925 daN (Coeficiente de variação = 1,8%).

No segundo caso (traço 1: 0,50: 1,53), as placas apresentaram:

Módulo de Elasticidade = 386 MPa; coeficiente de Poisson = 0,15 ; pesos iguais a 4.000 daN (C_{p1}), 3.750 daN (C_{p2}) e 3.850 daN (C_{p3}), ou seja, peso médio igual a 3.867 daN (Coeficiente de variação = 3,2%).

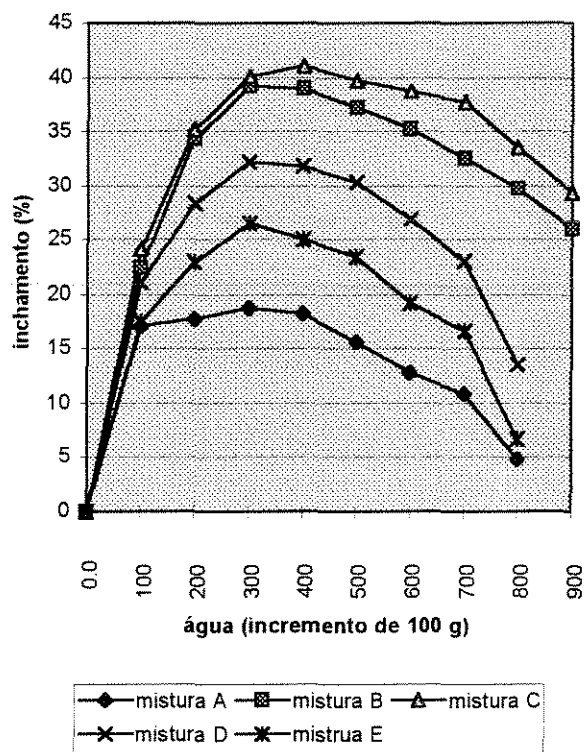
Por sua vez, os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova confeccionados com argamassas de cimento e pó de serra de traços 1: 0,25: 0,68 e 1:0,50: 1,53 , estão apresentados, respectivamente nas Tabelas 29 e 30 e figuras 31 e 32.

Os valores dos coeficientes de absorção acústica dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53 , ensaiados com um teor de umidade aproximadamente igual a 12%, estão registrados respectivamente nas Tabelas 31 e 32.

Por ocasião da determinação da condutibilidade térmica, os corpos de prova, de 6,0 x 12,0 x 24,0 cm, apresentavam um teor de umidade aproximadamente igual a 12%; a voltagem utilizada nos ensaios foi de 2,0587 V e, para os cálculos da condutibilidade média, do desvio padrão e do coeficiente de variação, não foram considerados os valores espúrios. Os valores de condutibilidade térmica para os corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68, estão relacionados na Tabela 33, e, para os de traço 1: 0,50: 1,53 , nas Tabelas 34A e 34B.

Na Tabela 35 estão apresentados os resultados do ensaio de combustibilidade aplicado aos corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68. Nas tabelas 36 e 37, os resultados obtidos para os corpos de prova de traço 1: 0,50: 1,53 , com as faces lisa (Tabela 36) ou áspera (Tabela 37) voltadas para o fogo. As placas apresentaram-se com o aspecto da figura 33.

A Tabela 38 relaciona os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, traço 1: 0,25: 0,68 , enquanto que os resultados referentes aos corpos de prova confeccionados com traço 1: 0,50: 1,53 estão apresentados na Tabela 38. A figura 34, por sua vez, apresenta graficamente os resultados do ensaio de absorção de água para ambos os traços.



Misturas:	A	;	B	;	C	;	D	;	E
MF	2,61	;	1,64	;	1,25	;	0,54	;	0,00

figura 25 - Gráfico do inchaço das misturas versus umidade, em função do MF

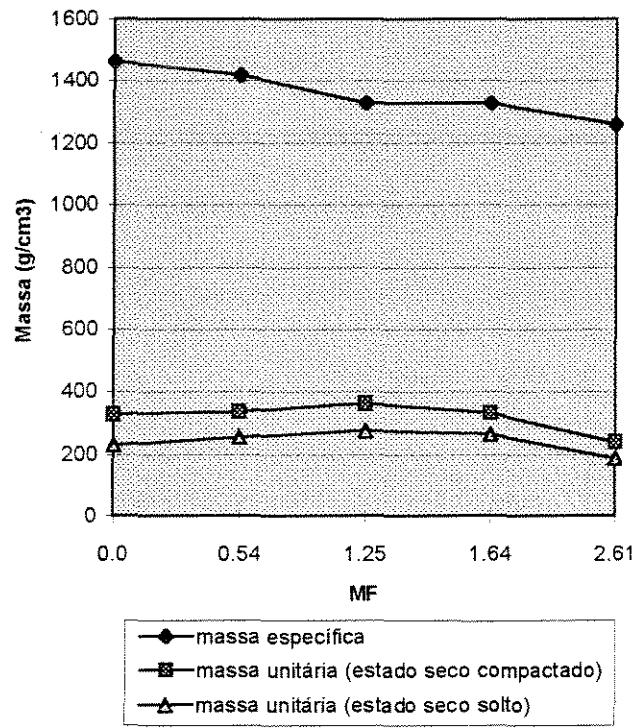


figura 26 - Gráfico do Módulo de Finura versus massas: específica e unitária

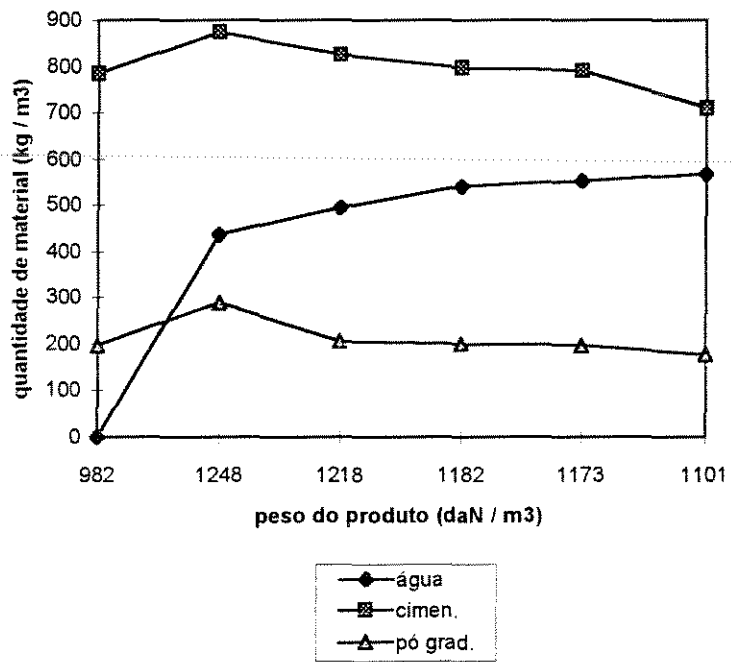


figura 27 - Gráfico representativo das quantidade de materiais / m³ - traço 1: 0,25: x

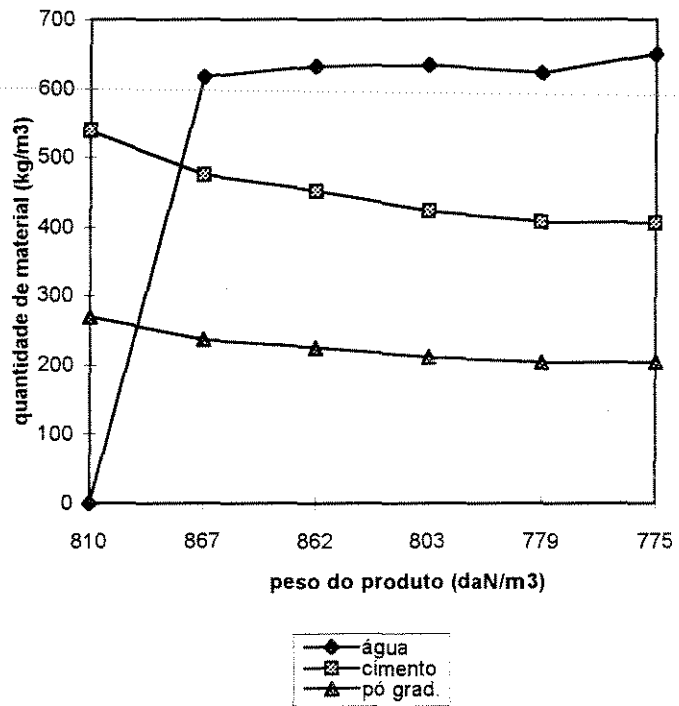
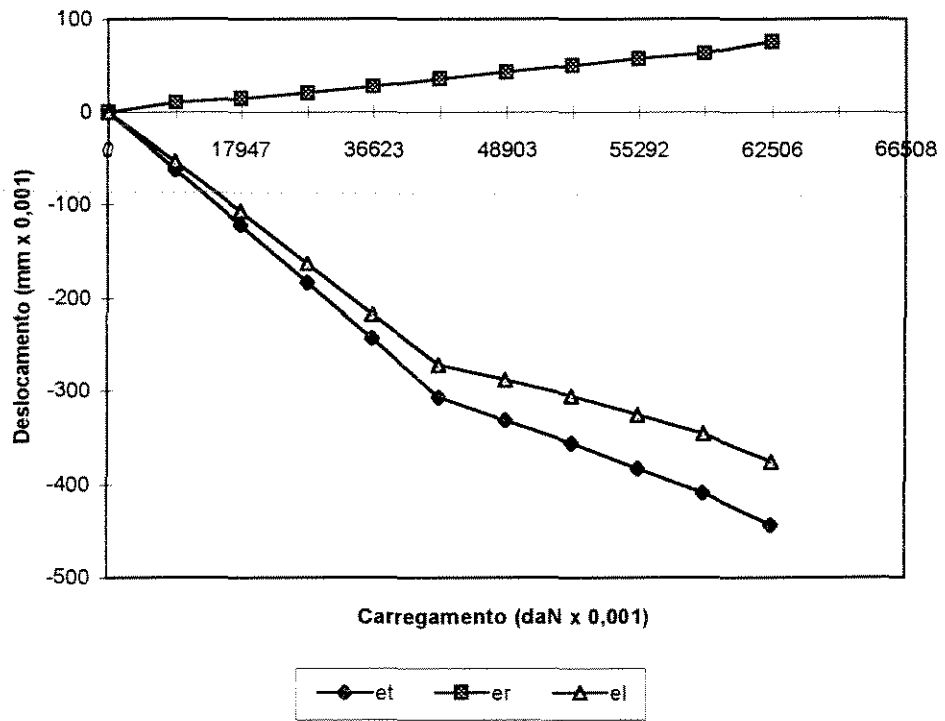


figura 28 - Gráfico representativo das quantidade de materiais / m³ - traço 1: 0,50: x

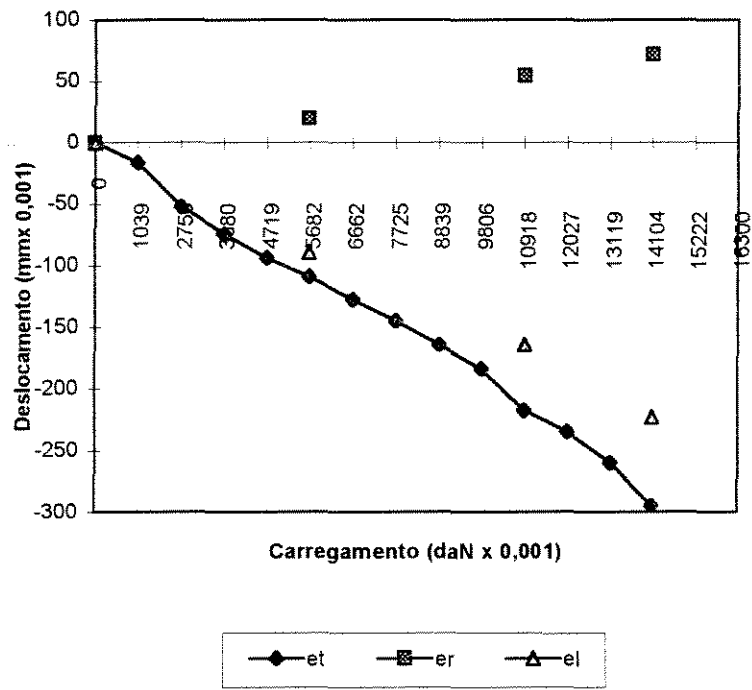


$$et = \delta_t$$

$$er = \delta_r$$

$$ev = \delta_v$$

figura 29 - Gráfico do ensaio de flexão das placas - traço 1: 0,25: 0,68

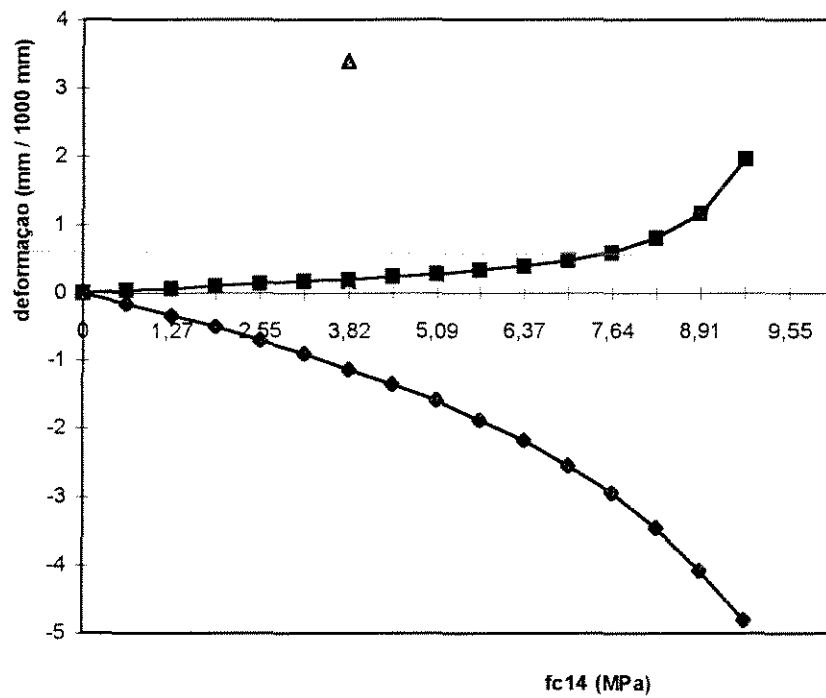


$$et = \delta_t$$

$$er = \delta_r$$

$$ev = \delta_v$$

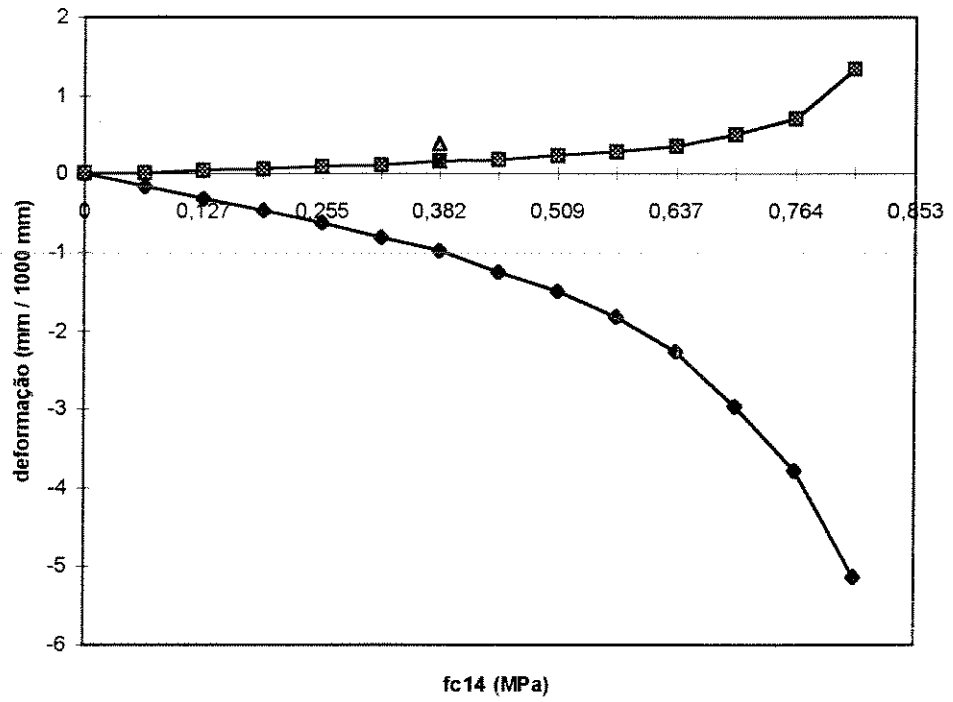
figura 30 - Gráfico do ensaio de flexão das placas - traço 1: 0,50: 1,53



legenda

- ◆ ϵ_{vm}
- ϵ_{tm}
- ♦ E (x 1000)
- x v

figura 31 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de compressão - traço 1: 0,25: 0,68



legenda

◆ ϵ_{vm}

■ ϵ_{tm}

◆ E (x 1000)

x v

figura 32 - Gráfico tensão x deformação do ensaio de compressão - traço 1: 0,50: 1,53

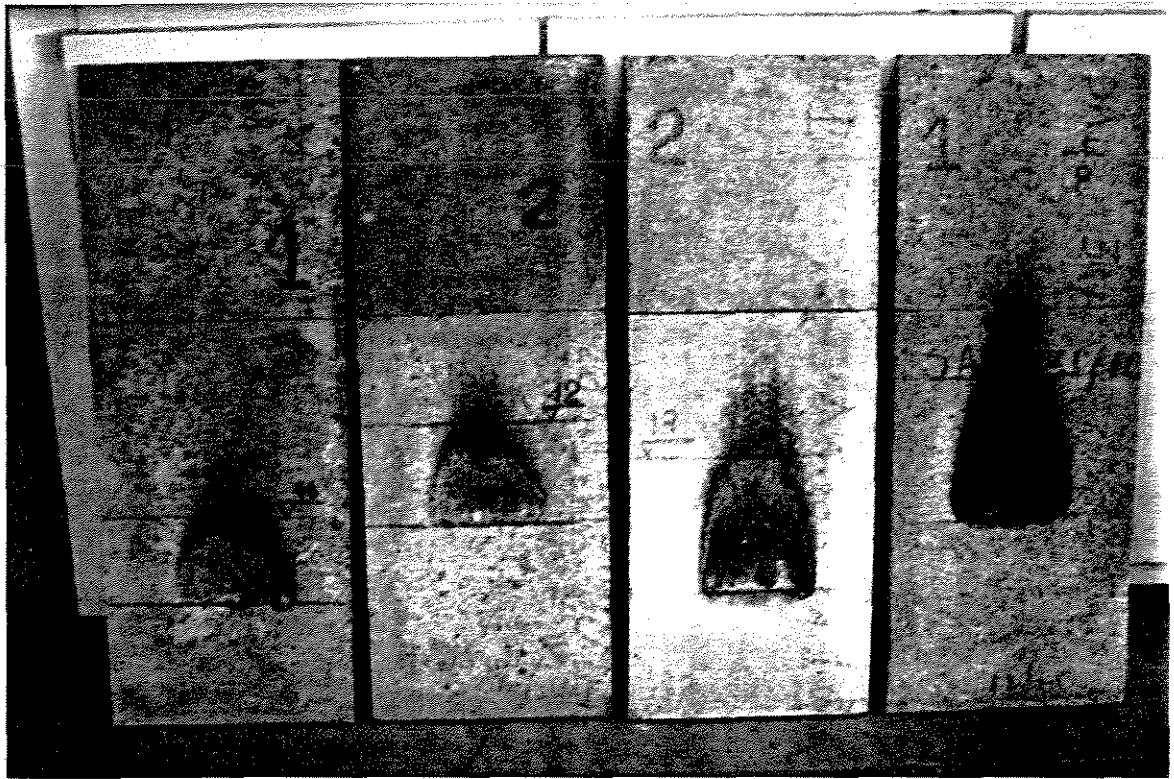
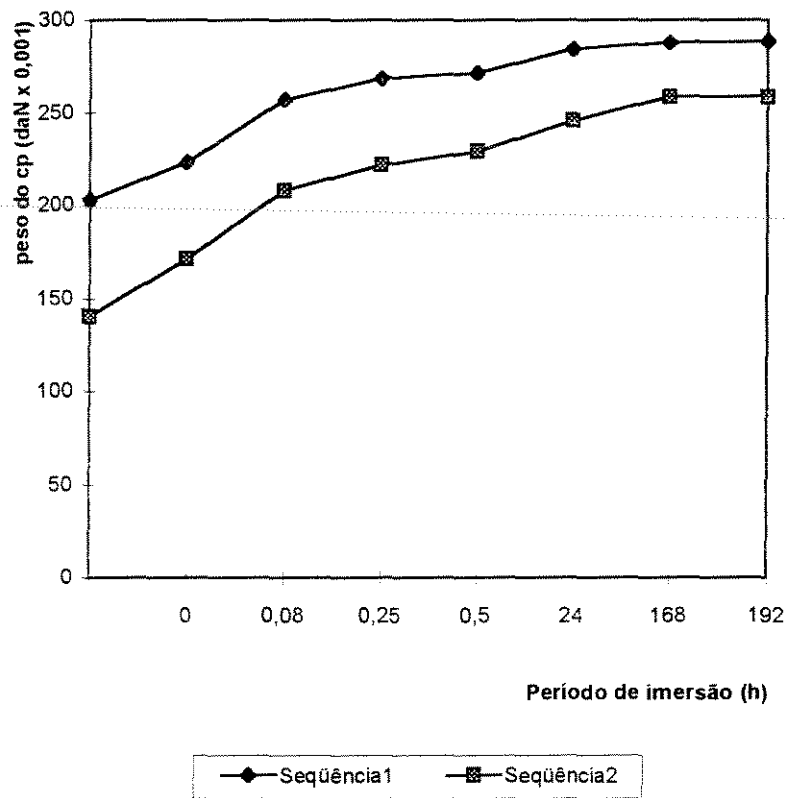


figura 33 - Ensaio de combustibilidade das placas: resultado final



Sequência 1, traço 1: 0,25: 0,68

Sequência 2, traço 1: 0,50: 1,53

figura 34- Gráfico dos resultados do ensaio de absorção de água

Tabela 1 - Composição granulométrica da amostra A

peneiras (abertura de malhas)	material retido	porcentagem em peso	
		retida	acumulada
mm	g		
≥ 2,4			
> 1,2	1,0	1,0	1,0
> 0,6	8,3	9,0	10,0
> 0,3	29,6	31,0	41,0
> 0,15	17,8	18,0	59,0
< 0,15	39,7	41,0	100,0
totais	96,4	100,0	211,0

Diâmetro máximo do agregado: 1,2 mm

Módulo de finura (MF): 1,11

Classificação NBR 7211: muito fina (zona 1)

Tabela 2 - Composição granulométrica da amostra B

peneiras (abertura de malhas)	material retido	porcentagem em peso	
		retida	acumulada
mm	g		
≥ 2,4			
> 1,2	12,0	12,3	12,3
> 0,6	39,2	40,2	52,5
> 0,3	33,6	34,4	86,9
> 0,15	8,8	9,0	95,9
< 0,15	4,0	4,1	100,0
totais	97,6	100,0	347,6

Diâmetro máximo do agregado: 2,4 mm

Módulo de finura (MF): 2,47

Classificação NBR 7211: média (zona 3)

Tabela 3 - Composição granulométrica da amostra colhida do silo 2

peneiras (abertura de malhas)	material retido	porcentagem em peso	
		retida	acumulada
mm	g		
≥ 2,4			
> 1,2	0,2	0,0	
> 0,6	1,0	1,0	1,0
> 0,3	6,5	7,0	8,0
> 0,15	17,0	17,0	25,0
< 0,15	73,0	75,0	100,0
totais	97,3	100,0	134,0

Diâmetro máximo do agregado: 0,6 mm

Módulo de finura (MF): 0,34

Classificação NBR 7211: muito fina (zona 1)

Tabela 4 - Composição granulométrica da amostra colhida do silo 3

peneiras (abertura de malhas)	material retido	porcentagem em peso	
		retida	acumulada
mm	g		
≥ 2,4			
> 1,2	4,0	4,0	4,0
> 0,6	22,2	23,0	27,0
> 0,3	32,1	32,0	59,0
> 0,15	15,6	16,0	75,0
< 0,15	24,6	25,0	100,0
totais	98,5	100,0	340,0

Diâmetro máximo do agregado: 1,2 mm

Módulo de finura (MF): 2,40

Classificação NBR 7211: fina (zona 2)

Tabela 5 - Composição granulométrica das misturas

Mistura	Série normal de peneiras - ABNT (abertura em mm)						MF	classificação NBR7211/82
	≥ 2,40	> 1,20	> 0,60	> 0,30	> 0,15	< 0,15		zona 3 - média
<u>A</u>	-	18,0	40,0	30,0	9,0	3,0	2,61	zona 2 - fina
<u>B</u>	-	-	18,0	44,0	22,0	16,0	1,64	zona 1 - muito
<u>C</u>	-	-	-	48,0	29,0	23,0	1,25	zona 1 - fina
<u>D</u>	-	-	-	-	54,0	46,0	0,54	zona 1 - muito
<u>E</u>	-	-	-	-	-	100,0	0,00	zona 1 - fiana

Tabela 6 - Ensaio de expansão referente à mistura A

n° de ord	quantidade de água adicionada (g/dm ³)			γ (g/dm ³)			sobra de material (g)			w (%)			inchamento (%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
01	0,0	0,0	0,0	216,7	213,7	213,7	0,0	0,0	0,0	5,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0
02	100	100	100	261,3	262,0	249,7	53,5	47,5	58,0	45,3	44,9	46,0	17,0	15,4	18,8
03	200	200	200	337,7	334,3	334,0	75,4	73,4	68,7	90,6	90,8	91,1	18,2	18,0	17,1
04	300	300	300	404,7	410,7	414,7	106,4	94,1	83,3	135,9	136,2	136,0	20,8	18,6	16,8
05	400	400	400	486,0	483,3	493,7	119,2	114,7	95,0	179,3	179,8	179,4	19,7	19,2	16,1
06	500	500	500	583,0	586,7	586,7	116,8	114,7	96,0	222,9	228,2	224,0	16,7	16,4	14,1
07	600	600	600	690,0	689,3	674,0	103,0	100,6	98,7	266,0	269,6	266,7	13,0	12,7	12,8
08	700	700*	700*	786,7	765,0	776,0	99,7	99,6	84,0	309,0	304,6	308,2	11,2	11,5	9,8
09	800*	800	800	965,0	926,3	887,3	0,0	33,1	56,3	345,3	348,9	347,8	0,0	3,5	6,0

R1, R2, R3 = Repetições 1, 2 e 3

γ = massa unitária do material compactado

w = teor de umidade

(*) = exsudação

Tabela 7 - Ensaio de expansão: médias de três repetições da mistura A (MF = 2,61; ϕ máx. = 2,4 mm; $w_{inicial}$ = 5%)

número ordem	água adicionada (g/dm ³)	γ (g/dm ³)	material sobra (g)	w (%)	incha/ (%)
01	0	213,6	0,0	5,0	0,0
02	100	257,7	53,2	45,4	17,1
03	200	335,3	72,5	90,8	17,8
04	300	409,8	94,6	136,0	18,7
05	400	487,7	109,6	179,5	18,3
06	500	585,2	108,1	225,0	15,7
07	600	684,4	107,0	267,4	12,8
08*	700	775,9	94,4	307,3	10,8
09	800	926,2	52,6	347,3	4,8

(*) exsudação

Tabela 8 - Ensaio de expansão referente à mistura B

n° de ord	quantidade de água adicionada (g/dm ³)			γ (g/dm ³)			sobra de material (g)			w (%)			inchamento (%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
01	0,0	0,0	0,0	313,3	325,3	316,7	0,0	0,0	0,0	3,4	3,4	3,4	0,0	0,0	0,0
02	100	100	100	328,7	315,7	319,7	81,3	107,0	92,7	30,9	30,0	30,0	19,8	25,3	22,5
03	200	200	200	333,7	343,0	326,7	172,3	175,7	179,3	61,5	59,5	59,8	34,0	33,9	35,4
04	300	300	300	369,3	362,0	369,3	234,3	248,3	228,0	92,7	87,6	88,6	38,8	40,7	38,2
05	400	400	400	430,3	424,0	422,0	267,0	281,3	268,0	122,6	116,8	117,9	38,2	39,9	38,8
06	500	500	500	502,0	479,3	509,0	292,0	317,7	273,7	153,4	145,0	147,1	36,8	39,8	35,0
07	600	600	600	583,3	534,7	593,7	302,7	351,0	279,7	182,8	172,3	175,8	34,2	39,6	32,0
08	700	700	700	678,7	620,3	671,7	302,7	358,3	289,0	213,2	200,8	203,3	30,8	36,6	30,1
09	800*	800	800	800,3	710,7	729,7	272,3	360,0	323,0	242,4	229,1	232,4	25,4	33,6	30,0
10	900	900*	900*		841,7	865,3		319,0	279,0		256,8	261,3		27,5	24,4

R1, R2, R3 = Repetições 1, 2 e 3

γ = massa unitária do material compactado

w = teor de umidade

(*) = exsudação

Tabela 9 - Ensaio de expansão: médias de três repetições da mistura B (MF = 1,64; ϕ máx. = 1,2 mm; $w_{inicial}$ = 3,4%)

número de ordem	água adicionada (g/dm ³)	γ (g/dm ³)	material sobra (g)	w (%)	incha/ (%)
01	0	318,4	0,0	3,4	0,0
02	100	321,1	93,7	30,3	22,5
03	200	334,5	175,8	60,3	34,4
04	300	366,9	236,8	89,6	39,2
05	400	425,4	272,1	119,1	39,0
06	500	496,8	294,6	148,5	37,2
07	600	570,6	311,1	177,0	35,3
08	700	656,9	316,7	205,8	32,5
09	800	746,9	318,4	234,6	29,7
*10	900	857,9	291,7	259,0	26,0

(*) exsudação

Tabela 10 - Ensaio de expansão referente à mistura C

n° de ord	quantidade de água adicionada (g/dm ³)			γ (g/dm ³)			sobra de material (g)			w (%)			inchamento (%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
01	0,0	0,0	0,0	335,0	333,0	327,3	0,0	0,0	0,0	3,2	3,2	3,2	0,0	0,0	0,0
02	100	100	100	321,0	335,3	317,7	114,7	90,7	106,3	30,1	27,9	29,5	26,3	21,3	25,1
03	200	200	200	340,3	335,0	342,7	193,0	183,7	177,7	59,2	55,8	59,0	36,2	35,4	34,1
04	300	300	300	371,3	362,0	379,7	256,0	251,3	236,3	87,3	84,2	88,2	40,8	41,0	38,4
05	400	400	400	429,0	407,3	416,7	296,7	297,3	275,7	116,6	111,6	111,5	40,9	42,2	39,8
06	500	500	500	503,7	472,3	489,0	326,7	327,3	311,3	147,9	140,1	144,5	39,3	40,9	38,9
07	600	600	600	560,7	533,3	563,3	357,7	357,0	334,3	174,1	167,4	174,2	38,9	40,1	37,2
08	700	700	700	639,3	586,0	645,3	395,0	394,0	346,3	208,7	194,3	203,0	38,1	40,0	34,9
09	800	800	800	725,7	704,3	738,0	380,7	364,0	349,3	230,3	220,8	232,2	34,4	34,1	32,1
10	900*	900*	900*	830,3	812,7	849,3	366,7	344,0	332,3	257,3	247,4	261,0	30,0	29,7	28,1

R1, R2, R3 = Repetições 1, 2 e 3

γ = massa unitária do material compactado

w = teor de umidade

(*) = exsudação

Tabela 11 - Ensaio de expansão: médias das três repetições da mistura C (MF = 1,25; ϕ máx. = 0,6 mm; $w_{inicial}$ = 3,2%)

número ordem	água adicionada (g/dm ³)	γ (g/dm ³)	material sobra (g)	w (%)	incha/ (%)
01	0	318,4	0,0	3,4	0,0
02	100	324,6	103,9	29,2	24,2
03	200	339,5	184,8	58,0	35,2
04	300	371,0	247,9	85,6	40,1
05	400	417,6	289,9	113,2	41,0
06	500	488,3	321,8	144,2	39,7
07	600	552,4	349,7	171,9	38,7
08	700	622,5	378,4	202,0	37,7
09	800	722,7	364,7	227,8	33,5
*10	900	830,8	347,7	255,2	29,3

(*) exsudação

Tabela 12 - Ensaio de expansão referente à mistura D

n° de ord	quantidade de água adicionada (g/dm ³)			γ (g/dm ³)			sobra de material (g)			w (%)			inchamento (%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R2	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
01	0,0	0,0	0,0	277,0	274,0	276,7	0,0	0,0	0,0	4,4	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0
02	100	100	100	298,3	282,0	303,3	75,0	90,0	71,7	34,8	35,8	35,5	20,1	24,2	19,1
03	200	200	200	339,3	338,0	335,7	131,3	131,7	136,7	69,9	71,4	70,7	27,9	28,0	28,9
04	300	300	300	386,3	388,3	380,3	182,7	179,0	187,7	105,4	107,0	105,3	32,1	31,6	33,0
05	400	400	400	464,0	450,7	444,3	199,7	212,0	221,3	139,6	141,9	140,5	30,1	32,0	33,2
06	500	500	500	531,0	529,7	526,3	227,0	231,3	233,3	173,6	177,7	174,5	29,9	30,4	30,7
07	600	600	600	521,0	651,3	603,7	233,0	205,3	251,7	208,3	212,6	209,1	27,3	24,0	29,4
08	700	700	700	718,7	737,0	741,3	232,0	218,3	210,0	243,2	248,6	243,8	24,4	22,5	22,1
09	800*	800*	800*	890,0	931,3	891,0	154,7	116,7	156,0	277,1	282,5	278,4	14,8	11,1	14,9
10	900	900	900	977,0	1009,3	1013,0	124,3	125,0	121,7	297,6	314,0	310,1	11,3	11,0	10,7

R1, R2, R3 = Repetições 1, 2 e 3

γ = massa unitária do material compactado

w = teor de umidade

(*) = exsudação

Tabela 13 - Ensaio de expansão: médias de três repetições da mistura D (MF = 0,54;

$\phi_{\text{máx}} = 0,3 \text{ mm}$; $w_{\text{inicial}} = 4,4\%$)

número de ordem	água adicionada (g/dm ³)	γ (g/dm ³)	material sobra (g)	w (%)	incha/ (%)
01	0,0	275,9	0,0	4,4	0,0
02	100	294,6	78,9	35,4	21,1
03	200	337,7	133,2	70,7	28,3
04	300	385,0	183,1	105,9	32,2
05	400	453,0	211,0	140,7	31,8
06	500	529,0	230,6	175,3	30,3
07	600	625,3	230,0	210,0	26,9
08	700	732,3	220,1	245,2	23,0
*09	800	904,1	142,4	279,3	13,6

(*) exsudação

Tabela 14 - Ensaio de expansão referente à mistura E

n° de ord	quantidade de água adicionada (g/dm ³)			γ (g/dm ³)			sobra de material (g)			w (%)			inchamento (%)		
	R1	R2	R3	R1	R2	R2	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
01	0,0	0,0	0,0	259,7	261,7	264,7	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0
02	100	100	100	292,7	296,3	297,7	64,0	60,3	64,3	37,4	36,3	36,8	17,9	16,9	17,8
03	200	200	200	352,3	346,0	352,2	102,3	104,0	104,0	75,0	72,0	73,4	22,5	23,1	23,2
04	300	300	300	412,3	404,3	398,0	137,6	140,7	159,3	111,7	108,3	110,5	25,0	25,8	28,6
05	400	400	400	491,3	490,0	481,0	154,7	157,3	175,3	148,7	147,3	147,9	23,9	24,3	26,7
06	500	500	500	578,0	555,7	552,7	159,3	177,3	177,3	183,9	180,1	175,8	21,6	24,2	24,3
07	600	600	600	686,7	663,0	669,7	146,0	159,7	176,3	220,6	214,4	219,6	17,5	19,4	20,8
08	700	700	700	838,3	762,0	787,7	90,0	156,0	155,7	257,4	250,8	256,4	9,7	17,0	6,5
09	800*	800*	800*	991,7	945,3	967,3	31,0	64,7	71,0	293,8	285,9	292,2	3,0	6,4	6,8
10	900	900	900	1028,7	1029,3	1048,7	76,0	70,3	83,0	325,4	320,2	327,5	6,9	6,3	7,3

R1, R2, R3 = Repetições 1, 2 e 3

γ = massa unitária do material compactado

w = teor de umidade

(*) = exsudação

Tabela 15 - Ensaio de expansão: média de três repetições da mistura E (MF= 0,0; $\phi_{\text{máx.}}$ = 0,15 mm; w_{inicial} = 4,0%)

número de ordem	água adicionada (g/dm ³)	γ (g/dm ³)	material sobra (g)	w (%)	incha/ (%)
01	0	264,7	0,0	4,0	0,0
02	100	295,6	188,6	36,8	17,5
03	200	350,3	313,0	73,5	22,9
04	300	404,9	437,7	110,2	26,5
05	400	487,4	487,3	148,0	25,0
06	500	562,1	534,7	180,0	23,4
07	600	673,1	482,0	218,2	19,2
08	700	796,0	401,7	254,9	16,7
*09	800	968,1	166,7	290,6	6,6

(*) exsudação

Tabela 16 - Índices físicos das misturas empregadas

Parâmetros	Misturas				
	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>
MF	2,61	1,64	1,25	0,54	0,00
$\phi_{\text{máx}}$ (mm)	2,40	1,20	0,60	0,30	0,15
w_{inicial} (%)	5,00	3,40	3,20	4,40	4,00
γ_s (g/dm ³)	1.256,00	1.300,00	1.332,00	1.415,00	1.453,00
γ_{ss} (g/dm ³)	185,00	261,00	278,00	254,00	228,00
γ_{sc} (g/dm ³)	235,00	333,00	354,00	342,00	328,00
γ_{si} (g/dm ³)	213,60	318,40	331,80	275,90	264,70
e_{ss}	5,79	3,98	3,79	4,57	5,37
e_{sc}	4,34	2,90	2,76	3,14	3,43
e_{si}	4,88	3,08	3,01	4,13	4,49
n_{ss} (%)	85,30	79,90	79,10	82,00	84,30
n_{sc} (%)	81,30	74,40	73,40	75,80	77,40
n_{si} (%)	83,00	75,50	75,10	80,50	81,80
S_r (%)	1,40	1,50	1,50	2,00	1,70
incha./méd.(%)	17,10	49,90	54,30	35,80	24,80

MF = Módulo de Finura;

$\phi_{\text{máx}}$ = diâmetro máximo do agregado;

w_{inicial} = teor de umidade;

γ_s = massa específica absoluta : Frasco de Chapman;

γ_{ss} , e_{ss} e n_{ss} = massa unitária, índice de vazios e porosidade no estado solto e seco;

γ_{sc} , e_{sc} e n_{sc} = massa unitária, índice de vazios e porosidade no estado compactado e seco;

γ_{si} , e_{si} e n_{si} = massa específica, índice de vazios e porosidade iniciais para a determinação do inchamento;

S_r = grau de saturação (volume de água/volume de vazios)

Tabela 17 - Parâmetros do ensaio de compactação normal de Proctor para as misturas I, A e II (traço 1: 0,50: x)

números de camadas	energia de compactação (daN/cm ² /cm ³)	umidade ótima (%)	massa específica aparente seca máx. (g/cm ³)	massa espec. absoluta (g/cm ³)
2	3,75	53,5	0,861	1,34
3	5,63	52,5	0,900	1,34
4	7,50	46,4	0,933	1,39
5	9,37	42,2	0,942	1,36

Tabela 18 - Resistência à compressão simples de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra (argamassa de consistência plástica), compactada em 4 camadas com 25 golpes cada

Traço (a: p: x)	Resistência à compressão (média de 3 repetições) (MPa)		Massa específica aparente (g/cm ³)
	aos 7 dias	aos 14 dias	
1: 0,25:0,68	9,1	12,3	1,300
1: 0,50:0,98	2,7	3,2	0,960
1: 0,75:1,28	1,6	1,6	0,800
1: 1,00:1,58	0,3	---	0,660

Tabela 19 - Índices físicos do material compactado (traço 1: 0,5: 0,46)

MF	$\phi_{\text{máx}}$ (mm)	$w_{\text{ót}}$ (%)	γ_r (g/cm ³)	γ_n (g/cm ³)	γ_{sm} (g/cm ³)	e	n (%)	Sr (%)
2,61	2,4	46,4	2,30	1,39	0,933	1,5	59,4	3,4

- MF = Módulo de finura;
 $\phi_{\text{máx}}$ = diâmetro máximo do agregado;
 $w_{\text{ót}}$ = teor de umidade ótima;
 γ_r = massa específica real dos grãos;
 γ_n = massa específica absoluta, Picnômetro;
 γ_{sm} = massa específica aparente seca máxima;
e = índice de vazios;
n = porosidade;
Sr = grau de saturação.

Tabela 20 - Resistência à compressão simples (média de três corpos de prova) da argamassa de traço 1: 0,5: 0,46

resistência à compressão (MPa)	dias								
	03			07			14		
	Cp1	Cp2	Cp3	Cp1	Cp2	Cp3	Cp1	Cp2	Cp3
f_c	1,8	1,7	1,9	1,7	1,8	1,9	1,7	1,8	2,1
f_{cm}	1,8			1,8			1,87		
s	0,1			0,1			0,21		
Cv (%)	5,5			5,5			11,0		

onde

- Cp = corpo de prova ;
 f_c = tensão de compressão simples;
 f_{cm} = tensão média de compressão simples;
s = desvio padrão;
Cv = coeficiente de variação

Tabela 21 - Quantidades de materiais componentes por metro cúbico de argamassa de traço 1: 0,25: x, para x igual a 0,00; 0,50; 0,60; 0,68; 0,70 e 0,80 (média de três repetições)

água (g)	cim. (g)	pó grad. (g)	V (cm ³)	s (cm ³)	Cv (%)	quantidade de materiais na argamassa (kg/m ³)	produto acabado γ_a (kg/m ³)
0,00	1000	250	1273,3	30,5	2,4	0,0 água 785,4 cimento 196,3 pó graduado	982
500	1000	250	1142,7	40,8	3,6	437,6 água 875,1 cimento 218,8 pó graduado	1248
600	1000	250	1213,4	10,2	0,8	494,5 água 824,1 cimento 206,0 pó graduado	1218
680	1000	250	1254,7	17,7	1,4	542,0 água 797,0 cimento 199,3 pó graduado	1182
700	1000	250	1266,4	20,4	1,6	552,7 água 789,6 cimento 197,4 pó graduado	1173
800	1000	250	1407,8	20,4	1,6	568,3 água 710,3 cimento 177,6 pó graduado	1101

V = volume total de argamassa

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

γ_a = massa específica aparente

Tabela 22 - Quantidades de materiais componentes por metro cúbico de argamassa de traço 1: 0,50: x, para x igual a 0,00; 1,30; 1,40; 1, 50; 1,53 e 1,60 (média de três repetições)

água (g)	cim. (g)	pó (g)	V (cm ³)	s (cm ³)	Cv (%)	quantidade de materiais na argamassa (kg/m ³)	produto acabado γ_a (kg/m ³)
0,00	1000	500	1851,7	54,8	3,0	0,0 água 540,0 cimento 270,0 pó graduado	810
1300	1000	500	2108,1	37,8	1,8	616,7 água 474,4 cimento 237,2 pó graduado	867
1400	1000	500	2214,7	36,8	1,7	632,1 água 451,5 cimento 225,8 pó graduado	862
1500	1000	500	2367,9	30,6	1,3	633,5 água 422,3 cimento 211,1 pó graduado	803
1530	1000	500	2459,3	22,2	0,9	622,1 água 406,6 cimento 203,3 pó graduado	779
1600	1000	500	2462,2	10,2	0,4	649,8 água 406,1 cimento 203,0 pó graduado	775

V = volume total de argamassa

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

γ_a = massa específica aparente

Tabela 23 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova (Cp) de argamassa de cimento e pó de serra, traço 1: 0,25: 0,68 , submetidos à compressão simples, para a série “A” (repetições “A1”, “A2”, “A3” e “A4”), Cp de ϕ 5,0 cm x10,0 cm de altura

repetições	Carga de ruptura (daN)			\bar{x} (daN)	s (daN)	Cv (%)	f_{c14} (MPa)
	Cp1	Cp2	Cp3				
“A1”	1040	1010	970	1007	35	3,5	5,1
“A2”	1815	1930	1950	1898	73	3,8	9,2
“A3”	2040	2120	2240	2133	101	4,7	10,9
“A4”	2550	2870	2820	2747	172	6,3	14,0

\bar{x} = média do carregamento dos Cp;
s = desvio padrão;
Cv = coeficiente de variação;
 f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias.

Tabela 24 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova (Cp) de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53 , submetidos à compressão simples, para as série “B” (repetições “B1”, “B2”, “B3” e “B4”) Cp de ϕ 5,0 cm x10,0 cm de altura

repetições	Carga de ruptura (daN)			\bar{x} (daN)	s (daN)	Cv (%)	f_{c14} (MPa)
	Cp1	Cp2	Cp3				
“B1”	200	200	210	203	6	2,8	1,03
“B2”	395	330	350	358	33	9,3	1,82
“B3”	235	215	180	210	28	13,0	1,07
“B4”	460	480	510	483	25	5,2	2,46

\bar{x} = média do carregamento dos Cp;
s = desvio padrão;
Cv = coeficiente de variação;
 f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias.

Tabela 25 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova (Cp) de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68 , submetidos à tração simples, para a série “A” (repetições “A1”, “A2”, “A3” e “A4”)

repetições	carga de ruptura (daN)			\bar{x} (daN)	s (daN)	Cv (%)	f_{t14} (MPa)	f_{c14} (MPa)	f_{t14}/f_{c14} (%)
	Cp1	Cp2	Cp3						
“A1”	84,7	80,3	85,9	83,6	2,95	3,5	1,34	5,1	26,2
“A2”	121,5	118,2	128,2	122,6	0,51	4,2	1,96	9,2	21,3
“A3”	121,5	105,9	143,9	123,8	1,91	15,4	1,98	10,9	18,2
“A4”	163,9	176,2	196,2	178,8	1,63	9,1	2,86	14,0	20,4

\bar{x} = média do carregamento dos cp;
s = desvio padrão;
Cv = coeficiente de variação;
 f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias.
 f_{t14} = tensão de tração simples aos 14 dias

Tabela 26 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova (Cp) de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53 , submetidos à tração simples, para a série “B” (repetições “B1”, “B2”, “B3” e “B4”)

repetições	Carga de ruptura (daN)			\bar{x} (daN)	s (daN)	Cv (%)	f_{t14} (MPa)	f_{c14} (MPa)	f_{t14}/f_{c14} (%)
	Cp1	Cp2	Cp3						
“B1”	90	90	100	93	6	6,2	0,15	1,03	14,6
“B2”	348	337	357	347	10	2,9	0,55	1,82	30,2
“B3”	204	151	151	169	31	18,1	0,27	1,07	25,0
“B4”	245	307	245	266	36	13,5	0,43	2,46	17,0

\bar{x} = média dos carregamentos do cp;
s = desvio padrão;
Cv = coeficiente de variação;
 f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias.
 f_{t14} = tensão de tração simples aos 14 dias

Tabela 27 - Resultados dos ensaios de flexão de três placas confeccionadas com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68, de 2x50x50 cm, bi-apoiadas, submetidas ao carregamento crescente

n° de ord.	p (daN)	P (daN)	δ_m (mm x 0,001)						δ_{m1} (mm x 0,001)		s (mm x 0,001)		Cv (%)		δ_t (mm x 0,001)
			Cp1		Cp2		Cp3		δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	
			δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	δ_t	δ_r							
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	8580	8580	63,5	13,0	73,5	4,5	51,5	8,5	62,7	8,7	11,0	4,3	17,6	49,0	5,0
3	9367	17947	129,5	19,0	126,0	9,5	107,5	13,0	121,0	13,8	11,8	4,8	9,8	34,7	10,0
4	9297	27244	188,5	21,5	201,5	19,5	161,5	19,0	183,8	20,0	20,4	1,3	11,1	6,6	16,0
5	9379	36623	246,0	28,5	268,0	26,0	218,5	24,0	244,2	26,2	24,8	2,3	10,2	8,6	21,0
6	9412	46035	311,0	39,5	329,0	36,0	283,0	30,0	307,8	35,2	23,4	4,8	7,6	13,7	27,0
7	2868	48903	340,0	47,5	355,5	46,0	298,0	34,0	331,2	42,5	29,8	7,4	9,0	17,4	28,0
8	3062	51965	360,5	53,0	389,5	62,0	318,5	36,0	356,2	50,3	35,7	13,2	10,0	26,2	30,0
9	3327	55292	405,0	63,0	410,0	69,0	333,5	39,5	382,8	57,2	42,8	15,6	11,2	27,3	32,0
10	3716	59008	430,0	68,0	436,0	74,0	361,5	46,0	409,2	62,7	41,4	14,7	10,1	23,5	34,0
11	3500	62506	466,0	77,0	469,5	75,5	396,5	48,5	443,7	76,0	41,3	16,0	9,3	23,9	37,0
12	2000	64508	535,0		498,0	90,0	420,0	55,0							
13	2000	66508	romp.		romp.		romp.								

p = peso parcial da barra de chumbo

P = peso total das barras de chumbo

δ_m = deslocamento médio da placa, medida por dois relógios comparadores colocados nas bordas extremas da faixa central de carregamento

δ_{m1} = deslocamento médio dos Cp1, Cp2 e Cp3

δ_t = deslocamento total = $\delta_{el} + \delta_r$

δ_r = deslocamento residual = $\delta_t - \delta_{el}$

δ_{el} = deslocamento elástico = $\delta_t - \delta_r$

Cp1, Cp2 e Cp3 = corpos de prova (placa 1, placa 2, placa 3)

Cv = coeficiente de variação

s = desvio padrão

Tabela 28 - Resultados dos ensaios de flexão de três placas confeccionadas com argamassa de cimento e pó de serra, traço 1: 0,50: 1,53 , de 2x50x50 cm, bi-apoiadas, submetidas ao carregamento crescente

n° de ord.	p (daN)	P (daN)	δ_m (mm x 0,001)						δ_{m1} (mm x 0,001)		s (mm x 0,001)		Cv (%)		δ_{el} (mm x 0,001)
			Cp1		Cp2		Cp3		δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	
			δ_t	δ_r	δ_t	δ_r	δ_t	δ_r							
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,039	1,039	17,0		14,0		18,5		16,5		2,3		13,9		
3	1,711	2,750	60,5	10,0	42,5		55,0		52,7		9,2		17,5		
4	0,930	3,680	87,0		60,5		74,5		74,0		13,3		17,9		
5	1,039	4,719	108,5	21,0	79,5		92,5		93,5		14,5		15,5		
6	0,963	5,682	120,5	24,0	96,0	11,0	110,0	23,0	108,8	19,3	12,3	7,2	11,3	37,4	89,5
7	0,980	6,662	133,0	27,5	115,0		132,5		126,8		10,3		8,1		
8	1,063	7,725	152,5		133,5		148,0		144,7		9,9		6,9		
9	1,114	8,839	169,0	35,0	154,5		168,0		163,8		8,1		4,9		
10	0,967	9,806	190,0		178,5		183,0		183,8		5,8		3,2		
11	1,112	10,918	207,0	45,0	241,5	66,5	205,0	50,5	217,8	54,0	20,5	11,2	9,4	20,7	163,8
12	1,158	12,027	227,5		252,0		224,5		234,7		15,1		6,4		
13	1,043	13,119	251,0	58,5	276,5		253,0		260,2		14,2		5,5		
14	0,990	14,104	275,0	70,7	336,5	79,5	273,0	65,5	294,8	71,9	36,1	7,1	12,2	9,8	222,9
15	1,118	15,222	312,0	84,5	romp.		310,0	84,5							
16	1,078	16,300	romp.				romp.								

- p = peso individual da barra de chumbo
P = peso total das barras de chumbo
 δ_m = deslocamento médio da placa, medida por dois relógios comparadores colocados nas bordas centrais extremas da faixa de carregamento
 δ_{m1} = deslocamento médio de Cp1, Cp2, Cp3
 δ_t = deslocamento total
 δ_r = deslocamento residual
 δ_{el} = deslocamento elástico
Cp1, Cp2, Cp3 = corpos de prova (placa 1, placa 2, placa 3)
Cv = Coeficiente de variação
s = desvio padrão

Tabela 29 - Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova de ϕ 10 cm x 20 cm de altura, confeccionados no traço 1: 0,25: 0,68.

carg (daN)	f_{c14}	Cp			ϵ_{lm}	s	Cv	ϵ_{t1}	ϵ_{t2}	ϵ_{t3}	ϵ_{tm}	s	Cv	E	
		ϵ_{11} (-)	ϵ_{12} (-)	ϵ_{13} (-)											(%)
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
500	0,64	0,14	0,16	0,17	0,157	0,015	9,8	0,05	0,02	0,03	0,033	0,015	45,8	3400	
1000	1,27	0,31	0,34	0,34	0,330	0,017	5,2	0,09	0,03	0,06	0,060	0,030	50,0		
1500	1,91	0,46	0,53	0,52	0,503	0,038	7,5	0,12	0,07	0,09	0,093	0,025	27,0		
2000	2,55	0,64	0,74	0,72	0,700	0,053	7,6	0,16	0,09	0,12	0,123	0,035	28,5		
2500	3,18	0,84	0,93	0,92	0,897	0,049	5,5	0,20	0,11	0,16	0,157	0,045	28,8		
3000	3,82	1,03	1,19	1,14	1,120	0,082	7,3	0,24	0,14	0,20	0,193	0,050	26,0		
3500	4,46	1,22	1,42	1,37	1,337	0,104	7,8	0,29	0,16	0,23	0,227	0,065	28,7		
4000	5,09	1,44	1,70	1,62	1,587	0,133	8,4	0,34	0,18	0,28	0,267	0,081	30,3		
4500	5,73	1,68	2,05	1,88	1,870	0,185	9,9	0,41	0,21	0,33	0,317	0,100	31,8		
5000	6,37	1,96	2,35	2,18	2,163	0,196	9,0	0,49	0,24	0,40	0,377	0,127	33,6		
5500	7,00	2,29	2,80	2,52	2,537	0,255	10,1	0,62	0,26	0,50	0,460	0,183	39,8		
6000	7,64	2,66	3,25	2,90	2,937	0,297	10,1	0,82	0,28	0,65	0,580	0,276	47,3		
6500	8,28	3,16	3,83	3,33	3,440	0,348	10,1	1,19	0,30	0,91	0,800	0,455	56,9		
7000	8,91	3,71	4,65	3,84	4,067	0,509	12,5	1,49	0,35	1,64	1,160	0,705	60,8		
7250	9,23	4,31	5,55	4,53	4,797	0,662	13,8	2,69	0,36	2,84	1,963	1,391	71,0		
7500	9,55														
7750	9,87														

f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias, em MPa

ϵ_{11} ; ϵ_{12} ; ϵ_{13} = deformação longitudinal dos corpos de prova cp1; cp2 e cp3, em mm/1000 mm

ϵ_{t1} ; ϵ_{t2} ; ϵ_{t3} = deformação transversal dos corpos de prova cp1; cp2 e cp3, em mm/1000 mm

ϵ_{lm} = deformação longitudinal média dos corpos de prova, em mm/1000 mm

ϵ_{tm} = deformação transversal média dos corpos de prova, em mm/1000 mm

E = Módulo de elasticidade, em MPa (f_{c14}/ϵ)

v = Coeficiente de Poisson (ϵ_t / ϵ_l)

Cp = corpo de prova

s = desvio padrão, em mm/1000 mm

Cv = Coeficiente de variação (%)

Tabela 30 - Resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova de ϕ 10 x 20 cm de altura, confeccionados no traço 1: 0,50: 1,53

carg (daN)	f_{c14}	Cp						Cv						E	ν	
		ϵ_{11}	ϵ_{12}	ϵ_{13}	ϵ_{1m}	s	Cv	ϵ_{t1}	ϵ_{t2}	ϵ_{t3}	ϵ_{tm}	s	Cv			
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(%)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(%)			
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,064	0,18	0,13	0,17	0,16	0,026	16,5	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04	200,0			
100	0,127	0,35	0,25	0,35	0,32	0,058	18,2	0,01	0,05	0,04	0,03	0,02	62,4			
150	0,191	0,53	0,38	0,52	0,48	0,084	17,6	0,03	0,08	0,06	0,06	0,03	44,4			
200	0,255	0,68	0,50	0,69	0,62	0,107	17,2	0,06	0,12	0,08	0,09	0,03	35,3			
250	0,318	0,88	0,66	0,89	0,81	0,130	16,0	0,08	0,16	0,10	0,11	0,03	36,7			
300	0,382	1,09	0,80	1,09	0,99	0,167	16,9	0,12	0,20	0,12	0,15	0,05	31,5	386	0,1	
350	0,446	1,40	0,97	1,37	1,25	0,240	19,3	0,16	0,24	0,15	0,18	0,05	26,9			
400	0,509	1,69	1,17	1,62	1,49	0,282	18,9	0,20	0,30	0,16	0,22	0,07	38,8			
450	0,573	2,13	1,40	1,94	1,82	0,379	20,8	0,27	0,35	0,20	0,27	0,08	27,5			
500	0,637	2,73	1,73	2,34	2,27	0,504	22,2	0,35	0,45	0,26	0,35	0,10	26,9			
550	0,700	3,83	2,15	2,94	2,97	0,840	28,3	0,55	0,60	0,36	0,50	0,13	25,2			
600	0,764	4,63	2,67	4,04	3,78	1,000	26,6	0,77	0,86	0,46	0,70	0,21	30,1			
650	0,828	6,08	3,67	5,64	5,13	1,283	25,0	1,42	1,61	0,96	1,33	0,33	25,1			
670	0,853															

f_{c14} = tensão de compressão simples aos 14 dias, em MPa

$\epsilon_{11}; \epsilon_{12}; \epsilon_{13}$ = deformação longitudinal dos corpos de prova Cp1, Cp2 e Cp3, (mm/1000 mm)

$\epsilon_{t1}; \epsilon_{t2}; \epsilon_{t3}$ = deformação transversal dos corpos de prova Cp1, Cp2 e Cp3, (mm/1000 mm)

ϵ_{1m} = deformação longitudinal média dos corpos de prova, em mm/1000 mm

ϵ_{tm} = deformação transversal média dos corpos de prova, em mm/1000 mm

E = Módulo de Elasticidade em MPa

ν = Coeficiente de Poisson

Cp = corpo de prova

s = desvio padrão

Cv = Coeficiente de* variação (%)

Tabela 31 - Coeficiente de absorção acústica (α_n) dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68

Cp n°	dimensão do Cp (cm)	peso (daN x 0,001)	γ_a g/cm ₃	γ_{am} g/cm ₃	s	Cv (%)	Frequência (Hz)			
							250	500	1000	2000
							α_n			
1	4,3 x 4,8	76,0	1,09				7,4	18,6	24,0	56,3
2	4,3 x 5,0	82,0	1,13	1,125	0,04	3,4	6,8	11,6	73,0	53,0
3	4,3 x 4,9	78,0	1,10				11,5	67,0	18,4	39,7
4	4,3 x 4,9	84,0	1,18				5,3	7,4	91,2	28,3

Cp = corpo de prova

γ_a = massa específica aparente dos Cp em g/cm³

γ_{am} = massa específica aparente média dos Cp

s = desvio padrão

Cv = Coeficiente de variação

α_n = coeficiente de absorção acústica (%)

Tabela 32 - Coeficiente de absorção acústica (α_n) dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53

Cp n°	medida real (cm)	peso (daN x 0,001)	γ_a	γ_{am}	s	Cv (%)	Frequência (Hz)			
							250	500	1000	2000
							α_n			
1	4,3 x 4,9	62,0	0,87				10,2	23,5	65,1	52,5
2	4,3 x 4,9	59,0	0,83	0,853	0,02	2,4	9,9	22,3	24,0	32,4
3	4,3 x 4,9	62,0	0,87				10,9	17,3	75,2	37,0
4	4,3 x 4,9	60,0	0,84				14,0	32,1	34,0	71,7

Cp = corpo de prova

γ_a = massa específica aparente dos Cp em g/cm³

γ_{am} = massa específica aparente média dos Cp

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

α_n = coeficiente de absorção acústica (%)

Tabela 33 - Resultados dos ensaios de condutibilidade térmica (λ) dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68 Referencial utilizado CpI

Cp n°	peso (daN)	γ_a	γ_{am1}	γ_{m2}	s	Cv	λ	s	Cv	λ_m	s	Cv	
I	1	2,023	1,171	1,210									
	2	2,158	1,249										
II	3	2,144	1,240	1,245			0,746	0,120	16,1				
	4	2,160	1,250										
III	5	1,957	1,133	1,138	1,264	0,082	6,4	1,511	0,086	5,7	1,549	0,05 3	3,4
	6	1,977	1,144										
IV	7	2,070	1,198	1,217			1,586	0,137	8,6				
	8	2,135	1,236										

Cp = corpo de prova

γ_a = massa específica aparente do Cp, em g/cm³

γ_{am1} = massa específica aparente média do par de Cp, em g/cm³

γ_{m2} = massa específica aparente média dos 8 Cp, em g/cm³

λ = condutibilidade térmica do Cp, em W/mK

λ_m = condutibilidade média dos Cp III e IV, em W/mK ($\lambda_m = 1,549 \text{ W/mK} = 1,33 \text{ kcal/mhK}$)

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação, em %

Tabela 34A - Resultados dos ensaios de condutibilidade térmica (λ) dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra de traço 1: 0,50: 1,53
Referencial utilizado: Cp IV

Cp n°	cp n°	peso (daN)	medidas do cp cm	γ_a (g/cm ³)	γ_{am1} (g/cm ³)	γ_{am2} (g/cm ³)	s (g/cm ³)	Cv (%)
I	1	1,446	5,7x12x24	0,881	0,885			
	2	1,487	5,8x12x24	0,890				
II	3	1,430	5,8x12x24	0,856	0,868			
	4	1,420	5,6x12x24	0,880				
III	5	1,350	5,7x12x24	0,822	0,852	0,874	0,018	2,1
	6	1,400	6,0x12x24	0,810				
IV	7	1,466	5,7x12x24	0,893	0,892	Cp utilizado como referência		
	8	1,487	5,6x12x24	0,890				

Cp = corpo de prova

γ_a = massa específica aparente do cp

γ_{am1} = massa específica aparente média do Cp (par)

γ_{am2} = massa específica aparente média dos 8 Cps

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

$\lambda_m = 0,537 \text{ W/mK} = 0,461 \text{ kcal/mhK}$

Tabela 34B - Resultados dos ensaios de condutibilidade térmica (λ) dos corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53
Referencial utilizados: Cp IV

Cp	γ_{am1}	γ_{am2}	λ	s	Cv	λ_m	s	Cv
n°	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(W/mK)	(W/mK)	(%)	(W/mK)	(W/mK)	(%)
I	0,885		0,775	0,074	9,6			
II	0,868		0,516	0,066	12,8	0,537	0,029	5,4
III	0,852	0,874	0,537	0,029	13,2			
IV	0,892		Cp utilizado como referência					

Cp = corpo de prova

λ = condutibilidade térmica do Cp

λ_m = condutibilidade térmica média dos CpII e CpIII

γ_a = massa específica aparente do Cp

γ_{am1} = massa específica aparente média do Cp (par)

γ_{am2} = massa específica aparente média dos Cp

s = desvio padrão

Cv = coeficiente de variação

Tabela 35 - Resultados obtidos no Ensaio de Combustibilidade de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,25: 0,68 e de dimensões iguais a 2,0 x 30,0 x 80,0 cm

Estágios								
1°			2°			3°		
t	h	p	t	h	p	t	h	p
0	23,5	-	180	24,5	-	360	27,0	-
15	24,5	-	195	26,5	-	375	28,0	-
30	24,5	-	210	27,0	-	390	30,0	-
45	24,5	-	225	27,0	-	405	33,0	-
60	24,5	-	240	27,0	-	420	34,0	-
75	24,5	-	255	27,0	-	435	35,0	-
90	24,5	-	270	27,0	-	450	35,0	-
105	24,5	-	285	27,0	-	465	35,0	-
120	24,5	-	300	27,0	-	480	35,0	-
135	24,5	-	315	27,0	-	495	35,0	-
150	24,5	-	330	27,0	-	510	35,0	-
165	24,5	-	345	27,0	-	425	35,0	-
180	24,5	-	360	27,0	-	540	35,0	-

t = tempo de ensaio decorrido (s)

h = altura da chama (cm)

p = propagação da chama (cm)

Tabela 36 - Resultados obtidos no Ensaio de Combustibilidade de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53 , e de dimensões iguais a 2,0 x 30,0 x 80,0 cm, com a face lisa voltada para o fogo

Estágios								
1°			2°			3°		
t	h	p	t	h	p	t	h	p
0	24	-	180	27	-	450	27,5	-
15	26	-	195	27	-	465	29	-
30	26	-	210	27	-	480	29	-
45	26	-	225	27	-	495	38	9
60	26	-	240	27	-	510	38	9
75	26	-	255	27	-	525	38	9
90	27	-	270	27	-	540	38	9
105	27	-	285	27	-	555	36	7
120	27	-	300	27	-	570	36	7
135	27	-	315	27	-	-	-	-
150	27	-	330	27	-	-	-	-
165	27	-	345	27	-	-	-	-
180	27	-	360	27	-	-	-	-
-	-	-	375	27,5	-	-	-	-
-	-	-	390	27,5	-	-	-	-
-	-	-	405	27,5	-	-	-	-
-	-	-	420	27,5	-	-	-	-
-	-	-	435	27,5	-	-	-	-
-	-	-	450	27,5	-	-	-	-

t = tempo de ensaio decorrido (s)

h = altura da chama (cm)

p = propagação da chama (cm)

Tabela 37 - Resultados obtidos no Ensaio de Combustibilidade de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,50: 1,53 , e de dimensões iguais a 2,0 x 30,0 x 80,0 cm, com a face áspera voltada para o fogo

Estágios								
1°			2°			3°		
t	h	p	t	h	p	t	h	p
0	24	-	180	25	-	480	29	-
15	25	-	195	26	-	495	38	9
30	25	-	210	26	-	510	40	11
45	25	-	225	26	-	525	40	11
60	25	-	240	26	-	540	40	11
75	25	-	255	26	-	555	38	9
90	25	-	270	26,5	-	570	36	7
105	25	-	285	26,5	-	585	36	7
120	25	-	300	26,5	-	600	36	7
135	25	-	315	26,5	-	-	-	-
150	25	-	330	29	-	-	-	-
165	25	-	345	28	-	-	-	-
180	25	-	360	29	-	-	-	-
-	-	-	375	28	-	-	-	-
-	-	-	390	28	-	-	-	-
-	-	-	405	29	-	-	-	-
-	-	-	420	28	-	-	-	-
-	-	-	435	28	-	-	-	-
-	-	-	450	28	-	-	-	-
-	-	-	465	28	-	-	-	-
-	-	-	480	29	-	-	-	-

t = tempo de ensaio decorrido (s)

h = altura da chama (cm)

p = propagação da chama (cm)

Tabela 38 - Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por corpos de prova de traço 1: 0,25: 0,68 , de ϕ 5,0 cm x 10,0 cm de altura

cp	peso seco (daN x 0,001)	período de imersão em horas						
		0,0	0,08	0,25	0,5	24	168	192
		peso úmido (daN x 0,001)						
01	200	221	253	263	265	284	289	289
02	200	223	255	261	263	280	286	286
03	203	227	256	265	266	287	292	292
04	206	225	262	274	276	284	287	287
05	202	219	255	271	273	284	286	286
06	203	223	255	270	275	283	284	284
07	207	225	263	275	278	288	290	290
Pméd.	203,0	223,3	257,0	268,4	270,9	284,3	287,7	288,6
s	2,7	2,7	3,9	5,5	6,0	2,6	2,8	3,0
Cv (%)	1,3	1,2	1,5	2,0	2,2	0,9	1,0	1,0
w (%)	≤ 5,0	10,0	26,6	32,2	33,4	40,0	41,7	42,2

Tabela 39 - Resultados obtidos no ensaio de absorção de água por corpos de prova de traço 1: 0,50: 1,53 , de ϕ 5,0 cm x 10,0 cm de altura

cp	peso seco (daN x 0,001)	período de imersão em horas						
		0,0	0,08	0,25	0,5	24	168	192
		peso úmido (daN x 0,001)						
01	138	160	206	221	228	243	253	253
02	138	164	203	218	226	247	257	257
03	141	164	209	222	228	247	257	257
04	135	157	206	218	225	242	252	252
05	142	191	210	225	231	247	264	264
06	138	177	205	218	227	242	257	257
07	149	182	217	231	237	251	267	267
08	142	175	206	220	226	241	257	257
Pméd.	140,4	171,3	207,8	221,6	228,5	245,0	258,0	258,0
s	4,2	11,9	4,3	4,5	3,9	3,5	5,1	5,1
Cv (%)	3,0	6,9	2,1	2,0	1,7	1,4	2,0	2,0
w (%)	≤ 5,0	22,0	48,0	57,8	62,7	74,4	83,8	83,8

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Do exame das Tabelas 1 a 5, pode-se constatar que há uma variação muito grande nos valores dos Módulos de Finura (MF) das amostras coletadas, até mesmo daquelas provenientes de um mesmo silo, como as amostras A e B do silo nº 01. Enquanto a amostra A tem diâmetro máximo de agregado igual a 1,2; MF = 1,1 , sua curva granulométrica indica, tendo em vista a NBR-7211/82, que está em sua grande parte fora da zona 1 (muito fina), podendo até ser considerada como finíssima; a amostra B, por outro lado, tem o diâmetro máximo de 2,4; MF = 2,47 e a sua curva granulométrica indica estar quase que totalmente dentro da faixa da zona 2 (fina).

Este fato indica a necessidade de se preparar uma mistura que tenha um MF melhor adaptado às exigências do material a ser obtido. O aproveitamento das partículas normalmente produzidas pela indústria madeireira e a transformação dos restos de madeira em partículas de dimensões adequadas são, também, considerações valiosas a serem feitas face aos resultados obtidos.

O pó, quando em contato com a água, expande-se e retrai-se livremente ao secar, tal

como pode-se constatar nas Tabelas 6 a 15. O conhecimento destes limites pode auxiliar no estabelecimento das características físicas e mecânicas desejadas no produto acabado.

A argamassa úmida, ao ser adensada na fôrma, sob a ação de uma determinada energia de compactação, produz uma interação entre as partículas de cimento, pó de serra e água, acomodando-as e reduzindo os espaços vazios entre elas. A argamassa deverá conter cimento em quantidade suficiente para envolver todas as partículas de pó de serra. Durante a cura úmida, o cimento reage com a água, que hidrata seus compostos químicos ativando-os, resultando na formação de um gel, isto é, uma substância gelatinosa que, com o passar do tempo, cristaliza-se, formando em torno das partículas de pó de serra, ainda úmidas e expandidas, alvéolos com paredes de espessuras relativas às quantidades de cimento utilizadas na mistura e à energia de compactação aplicada. Após a cura, o material perde a água em excesso, mantendo somente aquela água de equilíbrio com o meio ambiente. Nesta fase, as partículas de pó de serra estarão retraídas, e assim, parte delas soltar-se-á no interior dos alvéolos. A cura úmida é importante para manter as partículas de madeira expandidas (figura 25) durante a fase de pega e endurecimento da pasta que as envolvem.

O material, na fase de cura, estará úmido até a saturação. Posteriormente, os espaços deixados pela água evaporada e aqueles resultantes da retração das partículas de pó de serra, serão ocupados pelo ar. Ter-se-á, assim, no corpo do produto final, maior ou menor quantidade de materiais sólidos (pó de serra mais os cristais resultantes dos compostos hidratados do cimento), água e ar, dependendo do traço e do tipo de compactação empregado. Os índices físicos característicos do material compactado (Tabela 19) são diferentes daqueles determinados para as misturas (Tabela 16), sendo que, em todas as vezes em que o traço e/ou a composição granulométrica do pó e/ou a energia de compactação

forem alterados, ter-se-ão, também, alterações nos valores dos índices físicos. Pode-se observar na figura 26, que para o MF = 0,0 (fundo) há uma diferença entre as massas unitária no estado seco solto e unitária no estado seco compactado; para o MF = 0,54 há uma diferença de 84 g/cm³; para o MF = 1,25 há uma diferença de 83 g/cm³; para o MF = 1,64 há uma diferença de 71 g/cm³ e para o MF = 2,61 há uma diferença de 52 g/cm³. Essas diferenças, em função da energia de compactação, influenciarão a massa específica e o comportamento físico e mecânico do produto final.

De acordo com a tabela 17, pode-se observar que a massa específica absoluta, de custo mais baixo é $\gamma_n = 1,39 \text{ g/cm}^3$, resultado de uma umidade ótima $w_{ot} = 46,4\%$ e massa específica aparente seca máxima $\gamma_{sm} = 0,933 \text{ g/cm}^3$, obtidas pela compactação em quatro camadas sob energia de compactação de 7,50 daN/cm²/cm³.

Comparado-se os mesmos materiais compactados em quatro e cinco camadas, sob energias de compactação de 7,50 e 9,37 daN/cm²/cm³, respectivamente (Tabela 17), verificar-se-á que os pequenos acréscimos observados nas massas específicas correspondentes não justificam tecnicamente acréscimos nos custos (aumento de custo desnecessário) para sua obtenção.

Observou-se, também, que durante o processo de produção, na fase pós-mistura dos materiais constituintes e durante o enchimento dos vários corpos de prova, a argamassa permanece por um certo tempo acomodada no interior da betoneira ou de outro recipiente qualquer. Durante esse período, a água em excesso percola entre a argamassa e se deposita no fundo da betoneira, produzindo uma alteração no x do traço inicial em relação àquele da argamassa restante, resultando numa relação água/cimento diferente da inicial. Isso produz variações no comportamento físico e mecânico dos corpos de prova de uma mesma série

e/ou ensaio.

A água a mais, percolando através da argamassa plástica, se concentra no fundo da fôrma, dificultando a pega e o endurecimento do cimento em razão da dissolução de alguns elementos químicos constituintes da madeira na solução alcalina produzida pelo cimento. Para superar estas dificuldades, utilizou-se na confecção das últimas placas, fôrmas de base porosa, constituídas de feltro, com a função de absorver e reter a água percolada.

De acordo com a tabela 20, pode-se observar que a resistência à compressão simples aos 14 dias, de corpos de prova de argamassa experimental de traço 1: 0,50: 0,46, foi de 1,87 MPa, sendo a mesma de consistência seca e energicamente compactada, adequada para o sistema de compactação por prensagem. Por outro lado, os resultados da Tabela 18 mostram que, a argamassa experimental de consistência plástica de traço 1: 0,50: 0,98, adensada pelo processo do tipo vibração mecânica (figura 20), a resistência à compressão simples aos 14 dias foi de 3,2 Mpa. Para a escolha do processo de adensamento da argamassa das placas pré-moldadas obedeceu-se os critérios de: resistência a compressão simples, da massa específica aparente, da facilidade e da simplicidade de produção. Para comparar os resultados moldou-se corpos-de-prova, utilizando nos traços das argamassas, para os dois processos de adensamento, o cimento Portland (CPV - ARI) e o pó de serra (mistura A). Para o processo de adensamento do tipo prensagem (figuras 8 e 9), utilizou-se o traço 1: 0,50: 0,46, argamassa de consistência seca. Para o processo de adensamento tipo vibração mecânica (figura 20) utilizou-se o traço 1: 0,50: 0,68, argamassa de consistência plástica. Os resultados utilizados para a comparação foram os da Tabelas 18 para o tipo vibração mecânica, e os das Tabelas 19 e 20 para o tipo de prensagem. Escolheu-se o processo de adensamento vibratório mecânico. As argamassas de traços 1: 0,25: 0,68 e 1:

0,50: 0,98 , apresentaram os resultados de resistência média a compressão, aos 14 dias, de 12,3 Mpa e e 3,20MPa e massa específica aparente de $1,30 \text{ g/m}^3$ e $0,96 \text{ g/m}^3$. Os traços experimentais escolhidos registram resultados superiores àqueles propostos na definição inicial dos traços de trabalho: resistência à compressão simples aos 14 dias 10 MPa e 1,0 MPa e massa específica aparente de 1.150 kg/m^3 e 800 kg/m^3 , respectivamente. A consistência plástica, das argamassas experimentais escolhidas, apresentaram trabalhabilidade adequada para a moldagem dos corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão simples, confeccionados em fôrmas de pequenas dimensões (5 cm de diâmetro por 10 cm de altura) e de fácil manuseio. A consistência plástica da argamassa de traço 1: 0,25: 0,68 apresentou trabalhabilidade adequada para a moldagem das placas pré-moldadas (2 x 50 x 50 cm), porém, a consistência plástica da argamassa de traço 1: 0,50: 0,98, não apresentou trabalhabilidade adequada para a moldagem das placas pré-moldadas. Dessa forma, procurou-se adequar a plasticidade desta argamassa alterando-se a relação água-cimento (x) em função da sua trabalhabilidade. Esses resultados indicam que, no processo de produção, deve-se utilizar argamassa plástica com adensamento vibratório mecânico, pois apresenta maior resistência além de ter o seu custo menor e o processo de produção mais simples do que o processo de prensagem.

De acordo com as tabelas 21 e 22 e figuras 27 e 28, pode-se observar que a quantidade de água utilizada na moldagem das placas influi diretamente na massa específica aparente do produto acabado, que varia de 775 a 1248 daN/m^3 . As argamassas resultantes de cada traço 1: 0,25: x e 1: 0,50: x , com x variando de acordo com os limites estabelecidos anteriormente, apresentaram-se com consistências secas, plásticas e molhadas, para energias de adensamento de enérgica a moderada. Nas argamassas de consistência

plástica pôde-se observar que as mesmas possuíam grande capacidade de retenção de ar.

Pelo exame dos dados apresentados nas tabelas 23 e 24, pode-se verificar que existe uma grande variação nos valores finais da tensão de compressão simples aos 14 dias. Os menores valores obtidos para as séries “A” e “B” (5,1 e 1,03 MPa), no entanto, por si só, atendem às exigências mínimas para a utilização das chapas.

Nas tabelas 25 e 26 pode-se verificar, também, que há uma grande variação nos valores finais da tensão de tração simples aos 14 dias. Os valores mais baixos obtidos para as séries “A” e “B” (1,34 e 0,15 MPa), por si só satisfazem plenamente as necessidades mínimas para utilização do produto acabado. Observa-se que existe participação das partículas de madeira (mesmo as de pequenas dimensões) nos resultados dos ensaios de tração simples.

Nas tabelas 27 e 28 e figuras 29 e 30, onde estão registrados os resultados dos ensaios de flexão das placas, pode-se observar sua grande capacidade de deslocar-se sob a ação de um carregamento e, logo após a retirada desse carregamento, retornar à sua posição inicial deixando pequeno resíduo (resiliência).

As placas, carregadas até a ruptura, entravam em deslocamento contínuo e acelerado, até o colapso final.

Os resultados dos ensaios de compressão (Tabelas 29 e 30 e figuras 31 e 32), para todos os traços ensaiados demonstraram que o material tem comportamento elásto-plástico. Sob a ação dos carregamentos crescentes ocorreram os deslocamentos. A transição entre os deslocamentos elásticos para os deslocamentos plásticos são visíveis nos gráficos das figuras 31 e 32, representativos dos valores dos ensaios dos corpos de prova de argamassas do traço 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53.

Os resultados dos ensaios para a determinação do coeficiente de absorção acústica (α_n) (tabelas 31 e 32) revelam que, para uma mesma frequência, existem variações consideráveis, que podem ser atribuídas à concentração de pasta (cimento e água) e/ou de pó, resultante do processo de produção das placas (mistura e adensamento).

Os resultados dos ensaios de condutibilidade térmica (Tabelas 33, 34A e 34B) mostram diferentes valores de picos que podem ser atribuídos à existência de regiões onde a mistura dos materiais constituintes não foi bem homogeneizada; à colocação dos fios paralelos em segmentos de espaços variáveis nos sulcos feitos nos corpos de prova (distanciados entre si de 15 mm); à imperfeita ajustagem das faces dos pares de corpos de prova que envolvem os fios paralelos.

Os resultados dos ensaios de combustibilidade (Tabelas 35, 36 e 37) comprovaram o bom comportamento do produto obtido, havendo pouca alteração na combustibilidade do material entre as faces lisas e ásperas (contacto e não contacto com a superfície da fôrma) do traço mais fraco 1: 0,50:1,53 (figura 33). A emenda das chapas pareceu não influir nos resultados.

O ensaio de arrancamento de parafuso demonstrou a participação das partículas de madeira na resistência à tração. Ao final, os resultados dos ensaios de arrancamento de parafuso indicaram, para os corpos de prova de argamassa de traço 1: 0,25: 0,68 (peso médio das amostras igual a 1089 daN/m³), valores de cargas de rompimento, mínima e máxima, iguais a 21,6 daN e 37,8 daN, respectivamente.

Para os corpos de prova de traço 1: 0,50: 1,53 (peso médio igual a 830 daN/m³), os valores das cargas de rompimento, mínima e máxima, foram, respectivamente, 28,8 daN e 43,2 daN.

O traço mais fraco 1: 0,50: 1,53 teve melhor eficiência quanto ao arrancamento do que o traço mais forte 1: 0,25: 0,68.

A placa confeccionada com o traço 1: 0,25: 0,68 é facilmente cortada com máquina de disco abrasivo e/ou diamantado, e com serra de cortar aço. A placa executada com traço 1: 0,50: 1,53 é facilmente cortada com as ferramentas já citadas e ainda com serrote de carpinteiro. Em consequência disso, admite-se que o produto pode ser usinado.

Os resultados de absorção de água (tabelas 38 e 39 e figura 34) indicam que se trata um material altamente absorvente, pois após 192 h de imersão, os corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra de traço 1: 0,25: 0,68 absorveram 42,2% de água, em relação ao seu peso seco, enquanto que os de traço 1: 0,50: 1,53 absorveram 83,8%. Tais inconvenientes limitam o uso das placas a ambientes fechados, podendo, se necessário, submetê-las a um tratamento superficial adequado, com a finalidade de conferir-lhes um certo grau de impermeabilidade.

Face às observações feitas anteriormente, admite-se que é possível o aproveitamento do pó de serra, resíduo industrial, como material alternativo para a construção civil, especialmente se voltado para a produção de placas pré-moldadas, em mistura com pasta de cimento, para utilização em forros e paredes.

Embora os resultados físico-mecânicos aos quais os corpos de prova e as placas foram submetidos tenham indicado um bom desempenho do material compósito, novas pesquisas devem ser realizadas a fim de que muitas variáveis ainda não estudadas possam ser esclarecidas e outros aspectos técnico-econômicos possam ser avaliados.

6. CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados alcançados, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- o Módulo de Finura das amostras de pó de serra originais variam intensamente de uma amostra para outra, indicando a necessidade de se trabalhar com amostras compostas (misturas), mais adequadas às exigências do material a ser obtido;

- todas as misturas sofreram inchamento em função da adição de água, o máximo de inchamento alcançado quando a quantidade de água era de 300 g por dm^3 de mistura; após este pico, o inchamento decrescia de forma inversamente proporcional à quantidade de água adicionada;

- alteração no traço da argamassa de cimento e pó de serra e/ou na composição granulométrica da mistura e/ou na energia de compactação aplicada provocaram alterações nos valores dos índices físicos das misturas empregadas;

- o máximo valor de massa específica aparente (0,39 g/cm^3) para as misturas I e/ou II e/ou A foi obtido pela compactação de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, de traço 1: 0,5 em quatro camadas e sob energia de compactação de 7,5 $\text{daN/cm}^2/\text{cm}^3$;

- a utilização de argamassa plástica de cimento e pó de serra moldada com

adensamento vibratório mecânico, revelou-se o melhor processo de produção de placas pois, em termos de resistência à compressão simples, permitiu alcançar o máximo valor (3,2 MPa, aos 14 dias), além do fato do adensamento vibratório mecânico ser tecnicamente mais simples do que o da prensagem;

- argamassas de cimento e pó de serra de traços 1: 0,25: 0,50 e 1: 0,50: 1,60 levaram à obtenção de placas de massas específicas aparentes iguais a 775 daN/m³ (mínima) e 1248 daN/m³ (máxima), respectivamente;

- corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra de traço 1: 0,25: 0,68 (série "A") e 1: 0,50: 1,53 (série "B") apresentaram, respectivamente, valores máximos de resistência à compressão simples iguais a 14,00 e 2,56 MPa, e mínimos de 5,1 e 1,01 MPa;

- os valores máximos e mínimos das tensões de tração simples, aos 14 dias, para corpos de prova de argamassas de cimento e pó de serra, foram, respectivamente, de 1,34 e 2,68 MPa para o traço 1: 0,25: 0,68 (série "A") e 0,15 e 0,43 MPa para o traço 1: 0,50: 1,53 (série "B");

- os valores percentuais mínimos e máximos verificados na relação entre a tensão de tração simples e a tensão de compressão simples foram, respectivamente, de 19,1% e 26,2% para o traço 1: 0,25: 0,68 (série "A") e 14,6 e 17,5% para o traço 1: 0,50: 1,53 (série "B");

- placas de 2 x 50 x 50 cm, confeccionadas com argamassa de cimento e pó de serra de traços 1: 0,25: 0,68 e 1: 0,50: 1,53, mostraram grande capacidade de deslocamento, sob carregamento, apresentando Módulos de Elasticidade e coeficientes de Poisson de 3400 MPa e 0,17 (para o primeiro traço) e 386 MPa e 0,15 (para o segundo traço), respectivamente;

- o compósito constituído de cimento e pó de serra apresentou comportamento

elasto-plástico;

- para frequências variáveis de 250, 500, 1000 e 2000 Hz, corpos de prova confeccionados com argamassa de cimento e pó de serra apresentaram coeficientes de absorção acústica médios de 7,75 - 26,15 - 51,65 - 44,32 (para o traço 1: 0,25: 0,68) e 11,25 - 23,8 - 49,57 - 48,4 (para o traço 1: 0,50: 1,53), respectivamente, significando que tal material apresenta valores médios distintos de absorção sonora para cada traço e frequência estudada. Esses valores, interligados, formam uma faixa que servirá como referência aos projetistas, na escolha do traço que irá compor o material final;

- valores de condutibilidade térmica de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra iguais a 1,549 W/mK ou 1,33 kcal/mhK (para o traço 1: 0,25: 0,68) e 0,537 W/mK ou 0,461 kcal/mhK (para o traço 1: 0,50: 1,53) indicam tratar-se de um material de boas perspectivas de aplicação onde; Comparativamente o concreto e o gesso, materiais que possuem peso específico aparente de 2400 daN/m³ e entre 800 e 1200 daN/m³, respectivamente, apresentam coeficientes de condutibilidade térmica iguais a 1,3 kcal/mhK e 0,40 kcal/mhK.

- não houve propagação de chamas que pudessem ser observadas nos ensaios de combustibilidade de corpos de prova de argamassa de cimento e pó de serra, salvo no 3º estágio caracterizado por chamas amarelas (para argamassas de traço 1: 0,50: 1,53), quando então as chamas se propagaram, em média 8,7 cm, indicando bom comportamento do material frente ao fogo direto;

- o composto de cimento e pó de serra revelou-se um material com alta capacidade de absorção de água; os corpos de prova confeccionados com traço 1: 0,25: 0,68 absorveram, em média, após 24 e 192 h de imersão, 40,0% e 42,2% de água em relação ao

seu peso seco, respectivamente, enquanto que os de traço 1: 0,50: 1,53 absorveram, em média, 74,4 e 83,8%.

- tendo em vista os resultados dos ensaios físico-mecânicos realizados, os traços de argamassa de cimento e pó de serra, adequados para confecção de placas pré-moldadas para utilização em forros e paredes, são os traços 1: 0,25: 0,68 ou 1: 0,50: 1,53 (cimento Portland CPV - ARI, pó de serra graduado e água potável), devendo as placas serem moldadas em fôrmas de base porosa sob adensamento vibratório mecânico, curadas em condições ambientais normais e desformadas após decorridas aproximadamente 72 horas.

7. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGNESINI, Marcos Vinicio Costa. Argamassas hidráulicas simples de CP-32 e areia natural quartzosa destinadas à execução de peças pré-fabricadas de argamassa armada. São Carlos : EESC, 1988. 113 p. (Publicação 23).

AGUILLAR FILHO, Danilo. Combustibilidade e tratamento ignífugo da madeira. São Carlos : USP, 1986. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro.

NBR 5733 - Cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro, 1991. 7 p.

_____. NBR 6467 - Agregados : determinação do inchamento do agregado miúdo, especificação. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

_____. NBR 6508 - Grãos de solo que passam na peneira 4,8mm : determinação da massa específica, especificação. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.

_____. NBR 7182 - Solo : ensaio de compactação, especificação. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.

_____. NBR 7203 - Madeira serrada e beneficiada, especificação. Rio de Janeiro, 1945. 2 p.

_____. NBR 7211 - Agregados para concreto, especificação. Rio de Janeiro, 1982. 9p.

_____. NBR 7215 - Cimento Portland : determinação da resistência à compressão, especificação. Rio de Janeiro, 1991.

- NBR 7217 - Agregado : determinação da composição granulométrica, especificação. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.
- NBR 7251 - Agregado em estado solto : determinação da massa unitária, especificação. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.
- NBR 7810 - Agregado em estado compactado a seco : determinação da massa unitária, especificação. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.
- NBR 9776 - Agregados : determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman, especificação. Rio de Janeiro, 1986. 3p.
- AKERS, S. A. S. et al.** Long term durability of PVA reinforced fibres in a cement matrix. In : J. Cement Composites and Lightweight Concrete, v. 11, p. 79-91. 1989.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM**, Philadelphia. C-190 - 77 - Tensile strength of hydraulic cement mortars. In : Anual book of ASTM standards. Part 13, 648 p, 1981.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM 384-85 -** Standart test method for impedance and absorption of acoustical materials by the impedance tube methot.
- BAUER, Luiz Alfredo Falcão.** Materiais de Construção 1 - 5 ed. Rio de Janeiro: LTC. 1994. p. 84-103.
- BAZIRE, P. e GADANT, J.** La forêt en France. Blalec. Notes et études documentaires, n. 4928, 1991.
- BERALDO, A. L.** Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis à vis des variations de l'humidité. Nancy : Université de Nancy I, 1994. 223 p. Thèse (Docteur en Sciences du Bois). Université de Nancy I, 1994.
- BERGER, R. L. ; YOUNG, J. F. e LEUNG, K.** Acceleration of hydratation of calcium silicate by carbon dioxyde treatment. Natural Physical Science, v. 240, n. 97, p. 16-18, 1972.
- BIBLIS, E. J., LO, C.** Effect on the setting of southern pine-cement mixtures. Forest Products Journal , Alabama, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

- BROTERO, F.A.** Tabelas de resultados obtidos para madeiras nacionais. 2 ed. São Paulo : IPT, 1956. 35 p. (Boletim nº 31).
- BUENO, B.S. e VILAR, O.M.** Mecânica dos solos. São Carlos : EESC, v. 1. (Publicação 28). 1984.
- CINCOTTO, Maria Alba.** A Influência do pó calcário nas propriedades do cimento Portland comum. : Tecnologia de Edificações. São Paulo : Pini/IPT, 1988, p. 27-30.
- COUTTS, R. S. P.** Wood fibre reinforced cement composites. In : Concrete Technology and Design, v. 5, p. 1-62. 1989
- COUTTS, B.** Wood fiber inorganic composites. The Australian scene 1970's - 1990's : In : Inorganic bonded wood and fiber composite materials conference. v 3, p. 26-27. 1992.
- DIN 51046 - Determinação da Condutividade Térmica até 1600 °C segundo o método do arame aquecido. Tradução feita para a Seção de Cerâmica do IPT, 1969.
- DORLOT, J. M. ; BAILON, J. P. e MASOUNAVE, J.** Des matériaux. Montréal. Ecole Polytechnique, 2 ed., c. 13.7, p. 406-451.
- FORDOS, Z.** Natural or modified cellulose fibres as reinforcement in cement composites. In : Concrete Technology and Design, v. 5, p. 173-207. 1989.
- NOGUEIRA, Marta Cristina de J. Albuquerque e LAHR, Francisco Antonio Rocco.** Eucalipto: determinação de sua propriedade térmica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4, 1986. Anais...São Carlos: LaMEM/EESC/USP, 1992. p. 14-18.
- GERGES, S. N. Y.** Ruído : Fundamentos e controle. São Paulo : CBSSI, 1992. 600 p.
- GRAM, H. E.** Durability of natural fibres in concrete. Swedish, Sweden. 1983.
- GRAM, H. E. et al.** Natural fibre concrete. In : Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries, Sweden. 1984.
- GRAM, H. E.** Fibre concrete roofing. Swiss Centre for Appropriate Technology, Switzerland. 1986.

- GRANDI, Luiz Alfredo Cotini.** O uso do pó de serra como material de construção, em misturas secas e argamassas. São Carlos : USP, 1991. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO**
- IPT. Fibre-agro industrial byproducts bearing walls. 1987.
- LEE, A. W. C.** Effect of cement/wood ratios on bending properties of cement-bonded southern pine excelsior board. Wood and Fiber Science. v. 17, n. 3, p. 361-364. 1985.
- LEE, A. W. C. e HONG, Z.** Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compactibility : Forest Products Journal. v. 36, n. 11/12, p. 87-90. 1986.
- MOSLEMY, A. A.** Particleboard. Illinois. Southern Illinois University Press, v. 1, 1974.
- MOSLEMY, A. A. ; GARCIA, J. F. e HOFSTRAND, A. D.** Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. Wood and Fiber Science. v. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.
- MWAMILA, B. L. M.** Low modulus reinforcement of concrete. Swedish Council for Building Research, Sweden. 1984.
- PEREIRA, J.A. e MAINIERI, C.** Nomenclatura das madeiras nacionais. 2 ed. São Paulo : IPT, 11956. 31 p. (Boletim nº 31).
- PETRUCCI, Eládio G.R.** Concreto de cimento Portland. Porto Alegre: Globo, 1978, 6 ed. 307p.
- PIRJE et al.** Durability studies and characterization of the matrix and fibre-cement interface of asbestos-free fibre-cement products. Cement & Concrete Composites, v. 12, p. 233-244, 1990.
- RILEM.** Use of vegetable plants and their fibres as building materials. Joint Symposium, Baghdad. 1986.
- ROWELL, et al.** Opportunities for composites from recycled wastewood-based resources : a problem analysis and research plan. Forest Products Journal, v. 43, n. 1, p. 55-63, 1993.

- SABBATINI, F. H.** Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente.
São Paulo : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. 26 p. (Boletim técnico n. 2).
- SIMATUPANG, M. H.** Degradations of glucose, cellobiose, and wood under the influence of Portland cement paste. Holzforschung, v. 40 n. 3, p. 149-155, 1986.
- SIMATUPANG, M. H. e LANGE, H., et al.** Influence of wood species on the setting of cement and gypsum. Ith: International Congress on fiber and particleboard bonded with the inorganic binders, v. 1, p. 33-42, 1988.
- SANDERMANN, W. ; PREUSSER, H. J. e SCHWIENS, W.** The effect of wood extractives on the setting of cement-bonded wood materials. Holzforschung, v. 14, n. 3, p. 70-77, 1960.
- SWAMY, R. N.** New Reinforced Concretes. Concrete Technology and Design.
Glasgow : Blackie and Sons, 1984a, v. 2. 1984.
- _____.** Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete. Concrete Technology and Design.
Glasgow : Blackie and Sons, 1988b, v. 5. 1988.
- SWAMY, R. N. et al.** Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete, v. 1/2. 1986
- SWAMY, R. N.** A false dream or a potencial reality ? In : INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2, 1990, Salvador. H. S. Sobral, 1990, p. 3-8. 370 p.
- TAYLOR, H. F. W.** The chemistry of cements. London. Academic Press, 1964.
- THOMAZ, Ercio.** Desenvolvimento de produtos na construção civil : Tecnologia de Edificações. São Paulo : PINI/IPT, 1988, p. 209-213.
- VAIDERGORIM, Evelyne Ivonne Lange.** Características dos cimentos Portland : uma abordagem química. Tecnologia de Edificações. São Paulo : PINI/IPT, 1988, p. 19-22.
- VALENZUELA, W.A.** Contribution à la détermination de l'aptitude d'essences forestières pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment. Gembloux (Belgique), Faculté des Sciences Agronomiques, 1989. 229 p. These (Docteur en Sciences Agronomiques). Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 1989.

YASUDA, S. ; IWASE, Y. ; SEGUCHI, Y. et al. Manufacture of wood-cement boards
V. Cement-hardening inhibitory components of sugi heartwood and behavior catechol
as a simple inhibitor model with vicinal phenolic hydroxyl groups in cement paste.
Mokuzai Gakkaishi, v. 38, n. 1, p. 52-58, 1992.

ZHENG TIAN, L. e MOSLEMI, A. A. Influence of chemical additives on the hydration
characteristics of Western Larch wood-cement-water mixtures. Forest Products
Journal, v. 35, n. 7, p. 37-43, 1985.
